

Análise Morfológica de Pites em Aço Inoxidável Austenítico ABNT 304 Submetidos à Exposição em Via Névoa Salina

Morphological Analysis of Austenitic Stainless Steel Pitting ABNT 304 Submitted to Salt Spray Exposure

Ebelia del Angel Meraz¹
 Eduardo Norberto Codaro²
 Eriane Fialho de Carvalho³
 Jorge Luiz Rosa⁴
 Luis Rogerio de Oliveira Hein⁵
 Rosinei Batista Ribeiro⁶

Artigo
Original

Original
Paper

Palavras-chave:

Corrosão por Pites
 Aço Inoxidável
 Austenítico 304
 Névoa Salina
 Metalografia
 Microestrutura

Resumo

O artigo teve como objetivo estudar a evolução que estabelece a distribuição e classificação dos pites em aços inoxidáveis austeníticos ABNT 304 obtidos no estado como recebido e tratado termicamente, submetidos a diferentes tempos de exposição via Salt Spray. A metodologia do trabalho partiu das seguintes etapas: preparação metalográfica, testes de corrosão via névoa salina em diferentes condições, análise microestrutural, análise dos perfis dos pites, processamento digital e análise de imagens com finalidades de caracterizar a distribuição, morfologia e o tamanho dos pites. Os resultados obtidos no processamento digital e análise de imagens dos perfis, os dados foram submetidos à análise estatística, utilizando a mediana como parâmetro de avaliação na liga como recebido e tratado. A liga como recebido, exibiu a seguinte morfologia: pites hemisféricos> região de transição A> região de transição B> irregulares> cônicos. A quantidade de pites na liga tratada a cada tempo de exposição é da mesma ordem: região de transição B> hemisféricos> região de transição A> cônicos> irregulares.

Abstract

The article had as an objective studying the evolution that stabilishes the classification and distribution of austenitic stainless steel pitting ABNT 304 obtained in the state as received and heat-treated, submitted to different times of exposure by Salt Spray. The work methodology set off from the following stages: metallographic preparation, salt fog corrosion tests in different conditions, microstructural analysis, pitting profile analysis, digital processing and image analysis with the objective of characterizing the distribution, morphology and pitting size. The obtained results in the digital processing and profile images analysis, the data were submitted to statistical analysis, using the median as a parameter of evaluation in the alloy as received and treated. The alloy

Keywords:

*Pitting corrosion
 Austenitic stainless
 steel 304
 Salt Spray
 Metallography
 Microstructure.*

¹ Division Académica de Ingeniería y Arquitectura - Universidad Juárez Autónoma Tabasco – UJAT – México.

² Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá – Universidade Estadual Paulista – FEG-UNESP – Guaratinguetá - SP.

³ Faculdades Integradas Teresa D'Ávila – FATEA – SALESIANA – Lorena, SP.

⁴ Escola de Engenharia de Lorena – Universidade de São Paulo – EEL-USP - Lorena, SP.

Faculdades Integradas Teresa D'Ávila – FATEA – SALESIANA - Lorena, SP.

⁵ Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá – Universidade Estadual Paulista – FEG-UNESP - Guaratinguetá, SP.

⁶ Centro Universitário de Volta Redonda – UNIFOA, Faculdades de Tecnologia do Estado de São Paulo – Campus de Cruzeiro, SP

Faculdades Integradas Teresa D'Ávila – FATEA – SALESIANA

as received, showed the following morphology: hemispherical pits> transition zone A> transition zone B> irregular> conics. The amount of pits in the treated alloy after each exposure period is of the same order: transition zone B>hemispheric> transition zone A> conic> irregular.

1. Introdução

Alguns materiais de ampla aplicação no ramo da engenharia, como os aços inoxidáveis, Al, Ti e suas ligas, por exemplo, são favorecidas com a formação de uma fina camada de óxido passiva. Essa camada se forma naturalmente sobre a superfície do metal e reduzem a taxa de corrosão. Tais filmes passivos são freqüentemente susceptíveis à avaria localizada resultando fundamentalmente na dissolução acelerada do material ou de alguns de seus componentes [UHLIG, 1967; BRESLIN, 1997; JAYALAKSHMI, 1996].

Os fatores relacionados com a corrosão localizada podem iniciar ou até acelerar falhas estruturais nos componentes na forma de buracos, poros ou trincas induzindo a fratura. A corrosão por pites pode ser classificada como ataque localizado resultando num mecanismo rápido de penetração e remoção do metal em pequenas áreas.

Os pites ocorrem por intermédio de diversos fatores que influenciam diretamente sua formação tais como: tipo de liga, composição, integridade da camada do filme de óxido, presença de outro material, processos de fabricação favorecendo a produção de discontinuidades, poros, buracos, substâncias químicas e sollicitação mecânica.

Os materiais e seus componentes estão sujeitos à corrosão localizada em diferentes ambientes, podendo-se incluir o aço carbono, aço inoxidável, titânio, níquel, alumínio e cobre. As superfícies desses metais e ligas são passivadas quando são expostos a soluções contendo ânions agressivos, como por exemplo, os haletos (Cl⁻, F⁻, Br⁻).

Nestes casos a corrosão por pites pode ser definida como a dissolução local conduzindo a formação de cavidades, trincas e/ou buracos [ERNEST, 1997; NEWMAN, 1984].

A classificação morfológica dos pites nos materiais pode variar desde suas características na forma rasa para a geometria cilíndrica, poros aparentemente com a geometria hemis-

férica. As características populacionais e o aspecto morfológico dos pites nas ligas dependem dos parâmetros metalúrgicos (estrutura cristalina) e químicos (composição), também do ambiente (brometos, molibdatos e cloretos) e suas respectivas condições de concentração. Os pites provocam o aumento da tensão e a nucleação de trincas num componente em uso [SHREIR, 1978].

A corrosão por pites no alumínio e suas ligas ocorrem devido a quatro fatores: adsorção do ânion; reação química do ânion absorvido com íon de alumínio no retículo de óxido do alumínio; penetração do filme de óxido pela agressividade do íon, resultando na dissolução da fina camada de óxido e ataque direto do metal exposto pelo ânion.

A susceptibilidade do metal para a corrosão por pite como também a taxa pela qual ocorre a corrosão localizada depende da integridade do filme de óxido, entretanto, os pites ocorrem em diversos metais e ligas pelas mais diferentes maneiras. Como exemplo, o aço inoxidável Fe-17Cr é mais susceptível à corrosão por pites em solução de cloretos que o aço inoxidável austenítico AISI 304, o qual em relação à liga Fe-18Cr-8Ni-3Mo possui maior resistência à corrosão por pites (SZKLARSKA-SMIALOWSKA, 1992).

De modo geral, o titânio e suas ligas têm resistência superior às dos materiais ora apresentados. É importante evitar a extensa generalização a respeito da tendência de uma liga sofrer corrosão por pites. Deste modo, as ocorrências da formação da corrosão localizada no aço inoxidáveis podem ser observadas em soluções contendo íons de cloretos e brometos, hipocloritos ou ânions de bissulfetos, nas quais a formação de pites tenderá a ser eliminada pela presença dos oxi-ânions tais como NO₃⁻ ou SO₄⁻ (SZKLARSKA-SMIALOWSKA, 1992).

Na corrosão localizada é difícil prever a localização dos pites sobre a superfície dos metais, a sua distribuição e tamanho dependerá da condição estrutural da superfície metálica e além do ambiente de trabalho (ambiente cor-

rosivo). A taxa de corrosão por pites é aumentada significativamente diante das condições da superfície dos metais (rugosidade), porém torna-se difícil determinar a exata extensão do ataque [FRANKEL, 1998; SILVA, 2003].

2. Materiais e Métodos

O material empregado neste trabalho foi o aço inoxidável austenítico ABNT 304 fornecido em forma de chapa de 10 mm e 6 mm de espessura no estado como recebida (laminado) e tratado termicamente à 620°C durante 24 horas e resfriado ao ar, conforme a figura 1.

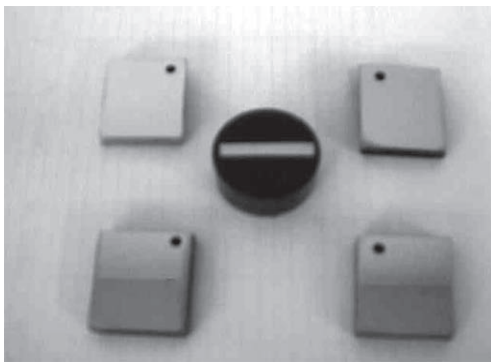


Figura 1 – Amostras de Aço Inox 304 para os testes de corrosão.

Os corpos de prova foram confeccionados nas dimensões 30mm x 25mm e preparados superficialmente (Figura 1). Os testes de corrosão via névoa salina foram realizados no Laboratório Central da TEKNO S.A., unidade de Guaratinguetá. As amostras foram submetidas a diferentes tempos de exposição como: 48, 120, 168, 216 e 312 horas.

A solução usada nos testes foi a NaCl 5% com pH 6,7 e a temperatura do processo controlada na ordem de 35°C ±1,7°C, entretanto, a zona de exposição da cabine era totalmente fechada [ASTM B 117, 1997]. A composição química do material é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 – Composição química do aço inoxidável Austenítico ABNT 304 (% em peso).

Fe	C	Si	Mn	Cr	Ni	N
Bal.	0,08	1,0	2,0	18,0	10,0	0,10

A caracterização microestrutural do material baseou-se na preparação metalográfica clássica utilizando lixas d'água nas granu-

lometrias #220-4000 e o polimento com pasta de diamante de 3µm e 1µm. Para a revelação microestrutural utilizou-se uma solução química com os seguintes reagentes: 10mL HF (48%), 10mL HNO₃ (65%), 15mL HCl (35%) e duas gotas de glicerol Pa, com objetivos de estudar a forma dos grãos e avaliar o tipo e a distribuição dos precipitados.

Foram realizados ensaios de microdureza vickers utilizando o microdurômetro tipo MICROMET 2004, fabricado pela BULHER com carga de 100 gF/mm² e tempo de indentação de 15 segundos numa superfície polida.

Os fatores que estabelecem o crescimento dos pites no aço inox ABNT 304 foram determinados, por meio do seccionamento vertical, sobre baixa carga e rotação, em seguida o lixamento e polimento. Para assegurar a baixa deformação e a integridade da região do perfil e dos pites na superfície corroída durante o polimento mecânico empregou-se uma resina epóxis, após o seccionamento e uma resina fenólica tipo baquelite para o embutimento [RIBEIRO, 2004]. Os parâmetros morfológicos e microestruturais associados com suas mudanças foram caracterizados, logo após os testes de corrosão, por meio do processamento digital e análise de imagens baseado na microscopia óptica [RIBEIRO, 2004].

Foram determinadas as características e as morfologias dos perfis dos pites no aço inox 304, associando os dados estatísticos de posição e dispersão definindo os parâmetros de tamanho, descrição de forma e populacionais, aplicando os programas de domínio público UTHSCSA IMAGE TOOL 3.0, IMAGE J e Media Cybernetics Image Pro plus 4.5/ Materials – Pro Analyzer 3.1 realizados no LAIMat-DMT-FEG-UNESP. A descrição de forma é determinada com a Área-Box (AB) definida como a razão entre a área do pite e área da menor caixa que contem ao pite, a qual permite a descrição geométrica clara e a separação quantitativa dos pites cônicos, esféricos e cilíndricos entre outros [RIBEIRO, 2004].

3. Resultados e Discussão

Para simplificar a análise dos resultados, a análise microestrutural, ensaios de microdureza, processamento digital e análise de ima-

gens, a distribuição, morfologia e o tamanho dos pites foram analisados individualmente e posteriormente correlacionados com o inox 304 como recebido e tratado.

A verificação e a validação dos resultados obtidos no processamento digital e análise de imagens dos perfis, os dados foram submetidos à análise estatística, utilizando principalmente a mediana de cada parâmetro determinado na liga.

A Figura 2, mostra a microestrutura na condição como recebida caracterizada por grãos de austenita tipicamente na forma de degraus, sendo que o nível de sensitização nesta condição é estimado a zero, nota-se a presença de regiões deformadas e o aumento nos valores da microdureza.

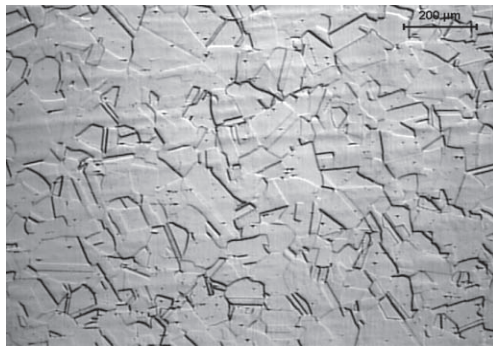


Figura 2 – Micrografia do Aço Inoxidável 304 como recebido, atacado.

A Figura 3, a amostra que foi tratada a 620°C durante 24 horas, mostram a microes-

trutura de caráter original do aço praticamente sensitizado e a micrografia resulta no crescimento dos grãos com elevada precipitação de carbeto de cromo e na forma tipicamente de vala, devido alta fração volumétrica e o aumento na extensão dos contornos de grãos ocorridos pela presença de precipitados de carbeto de cromo, contribuindo para maior susceptibilidade a corrosão localizada.

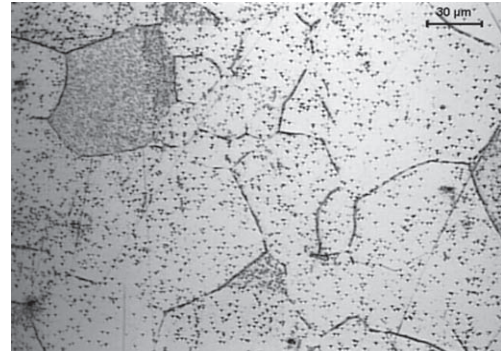


Figura 3 - Micrografia do aço inoxidável 304 tratado a 620°C – 24 horas, resfriamento ao ar, atacado.

Os aços inoxidáveis solubilizados e sensitizados apresentam fases precipitadas das mais diferentes formas geométricas, devido ao tempo de tratamento térmico, iniciando nos contornos de grão.

A Tabela 2, o material quando tratado possui valores menores na microdureza que o estado como recebido, motivado pela elevada taxa de deformação mecânica e sua composição química.

Tabela 2 - Valores de Microdureza Vickers no aço inoxidável austenítico ABNT 304.

Material	Valores de Microdureza - HV	Desvio Padrão
Tratada à 670°C – 5 horas, resfriado ao ar	173,83	2,33
Como recebido	172,01	1,9

As micrografias 4 (a), (b) e 5 (a), (b) ilustram, a partir da microscopia óptica dos perfis, distintos mecanismos de crescimento dos pites associados com os aspectos microes-

truturais da liga no estado recebida e tratada, após serem submetidos a diferentes tempos de exposição em névoa salina.

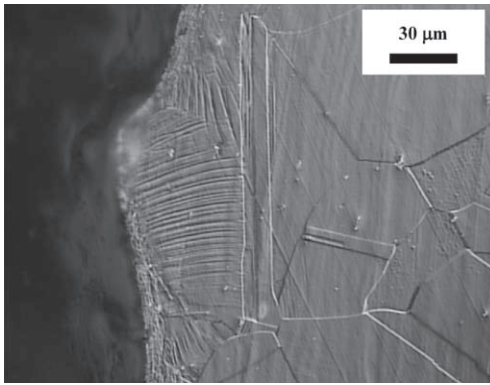


Figura 4a – A ocorrência da corrosão por pites no aço inoxidável 304, no estado como rece

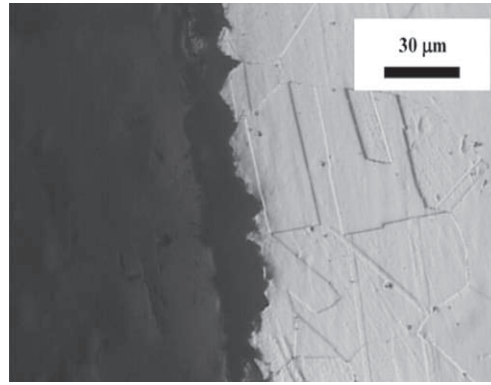


Figura 5a - A ocorrência da corrosão por pites no aço inoxidável 304, tratado a 620°C – 24 horas e resfriada ao ar.

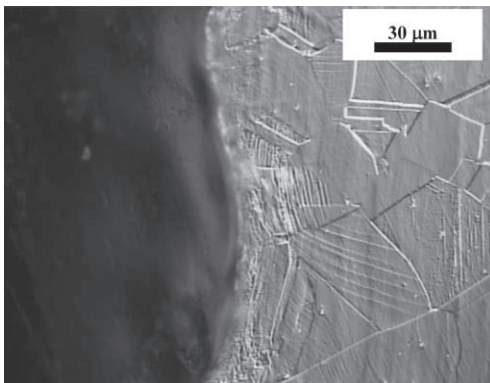


Figura 4b - A ocorrência da corrosão por pites no aço inoxidável 304, no estado como recebida.

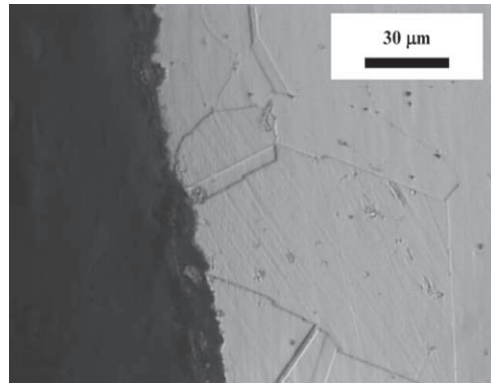


Figura 5b - A ocorrência da corrosão por pites no aço inoxidável 304, tratado a 620°C – 24 horas e resfriada ao ar.

A corrosão por pites na condição como recebida, inicia-se junto aos contornos de grãos e na interface da região deformada mecanicamente como as maclas ou degraus nos contornos dos grãos, isso contribui como uma barreira, dificultando o todo o mecanismo de transporte de massa (pite) e diminuindo a cinética de crescimento da corrosão localizada no material, devido a microestrutura típica como degrau entre os contornos e zero de sensitização (isenção da precipitação da segunda fase). Na condição tratada termicamente os pites iniciam o crescimento na interface primária da fase induzida pela

precipitação tipo $Cr_{23}C_6$ região rica em cromo e a secundária como toda matriz região rica em ferro, cromo e níquel principalmente nos contornos dos grãos, em que a nucleação é favorecida e quando os grãos são coalescidos e aumentados através do tratamento de térmico (sensitização).

Na tabela 3 (a), visualizou-se a seguinte distribuição e classificação dos pites no aço inox 304 a cada tempo de exposição é a mesma ordem de na quantidade de pites é na região de transição A > irregulares > cônicos > hemisféricos > região de transição B. Pites cilíndricos não foram observados.

Tabela 3 (a) – Classificação e distribuição das porcentagens de pites no aço inoxidável 304, como recebida.

Tempo de Exposição [Horas]	48	120	168	216	312
Pites Irregulares	24,43	31,61	30,18	45,16	43,35
Pites Cônicos	9,39	11,87	7,04	22,57	7,85
Pites Trans. A	58,91	47,07	50,66	38,20	34,59
Pites Hemisf.	8,85	8,72	11,03	5,61	3,47
Pites Trans. B	1,6	0,71	1,06	0,44	0,15
Pites Cilíndricos	0	0	0	0	0

Ao aumentar o tempo de exposição há a ocorrência do aumento dos pites irregulares e os de transição A, porém a evolução tempo-

ral dos pites é similar no aço quando tratado a 620°C ao aumentar o número de pites hemisférico, de acordo com a Tabela 3(b).

Tabela 3 (b) – Classificação e distribuição das porcentagens de pites no aço inoxidável 304, tratada a 620°C – 24 Horas e resfriamento ao ar.

Tempo de Exposição [Horas]	48	120	168	216	312
Pites Irregulares	32,98	40,54	36,07	35,89	34,90
Pites Cônicos	9,38	9,12	9,65	10,34	9,32
Pites Trans. A	50,97	46,45	48,01	47,02	48,04
Pites Hemisf.	5,47	3,54	5,82	5,95	6,96
Pites Trans. B	1,17	0,33	0,42	0,62	0,78
Pites Cilíndricos	0	0	0	0	0

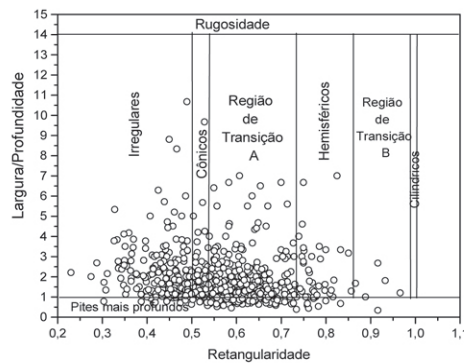


Figura 6(a)-Classificação dos pites formados na superfície do aço inox 304 como recebido, submetido a testes de corrosão via névoa salina durante 48 horas.

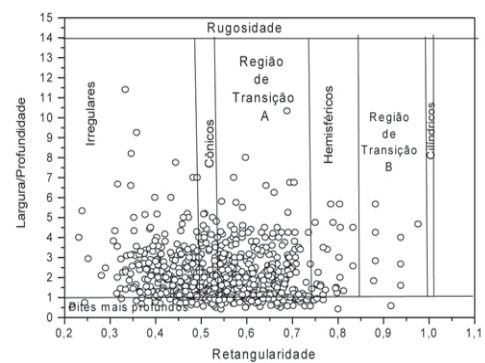


Figura 7(a)-Classificação dos pites formados na superfície do aço inox 304 tratado 620°C durante 24 horas e resfriado ao ar e submetido a testes de corrosão via névoa salina durante 48 horas.

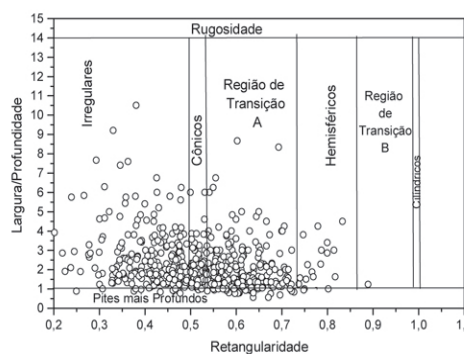


Figura 6(b)-Classificação dos pites formados na superfície do aço inox 304 como recebido, submetido a testes de corrosão via névoa salina durante 312 horas

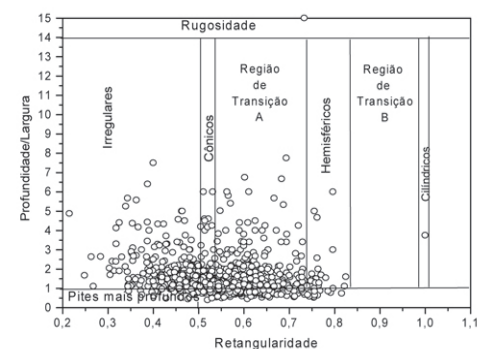


Figura 7(b)-Classificação dos pites formados na superfície do aço inox 304 tratado 620°C durante 24 horas e resfriado ao ar e submetido a testes de corrosão via névoa salina durante 312 horas.

A Tabela 4 (a) e as Figuras 8 (a) e (b), mostram a seguinte ordem no tamanho da mediana da largura e profundidade dos pites associada com a morfologia dos pites: irregulares > cônicos > transição A > hemisféricos > transição B; não foi observada a existência de pites cilíndricos no sistema para o aço inox 304.

A geometria dos pites apresentam maior na largura que na profundidade e parecem crescer preferencialmente na largura. Observou-se que quanto maior tempo de exposição na condição como recebido, maior a largura dos pites mesmo entre as diferentes morfologias dos pites e a profundidade constante.

Tabela 4(a) – Mediana da largura e profundidade dos pites no aço inoxidável 304, como recebido.

Tempo de Exposição [Horas]	Parâmetros [mediana] μm	Pites Irreg	Pites Cônicos	Pites Trans A	Pites Hemisf.	Pites Trans B	Pites Cilíndricos
48	Largura	2,54	1,90	1,56	1,08	0,45	0
	Profundidade	1,35	1,26	1,18	0,81	0,35	0
120	Largura	0,25	0,18	0,16	0,13	0,10	0
	Profundidade	0,11	0,10	0,09	0,07	0,05	0
168	Largura	2,42	1,56	1,30	1,02	0,80	0
	Profundidade	1,06	0,90	0,71	0,53	0,40	0
216	Largura	2,36	2,50	1,92	1,77	1,55	0
	Profundidade	0,26	0,16	0,14	0,12	0,12	0
312	Largura	3,65	2,44	2,16	2,04	1,49	0
	Profundidade	0,22	0,16	0,13	0,11	0,12	0

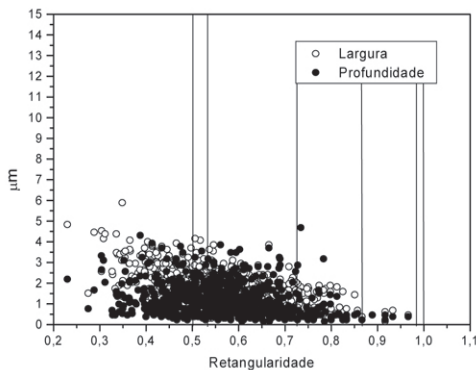


Figura 8 (a) - Tamanho dos pites formados na superfície do aço inox 304, no estado como recebida, após serem submetido a testes de corrosão via névoa salina durante 48 h.

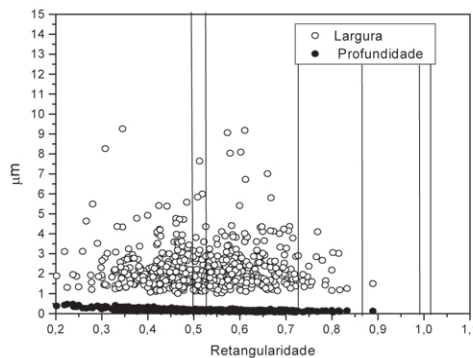


Figura 8 (b) - Tamanho dos pites formados na superfície do aço inox 304, no estado como recebida, após serem submetido a testes de corrosão via névoa salina durante 312 h.

A Tabela 4(b) apresenta-se a seguinte ordem na mediana do tamanho na largura e profundidade associada com a morfologia dos pites: irregulares > cônicos > transição A > hemisféricos > transição B > cilíndricos, conforme as Figuras 9 (a) e (b).

Os pites apresentam-se mais profundos que largos e crescem preferencialmente na profundidade. Observou que quanto maior tempo de exposição, maior a profundidade dos pites mesmo entre as diferentes morfologias dos pites e a largura constante.

Tabela 4(b) – Mediana da largura e profundidade dos pites no aço inoxidável 304, tratada a 620°C – 24 Horas e resfriamento ao ar.

Tempo de Exposição [Horas]	Parâmetros [mediana] μm	Pites Irreg	Pites Cônicos	Pites Trans A	Pites Hemisf.	Pites Trans B	Pites Cilíndricos
48	Largura	0,21	0,17	0,14	0,12	0,11	0
	Profundidade	2,99	2,12	1,80	1,54	1,56	0
120	Largura	0,22	0,14	0,13	0,12	0,12	0
	Profundidade	2,73	1,90	1,81	1,35	1,42	0
168	Largura	0,22	0,16	0,14	0,12	0,12	0
	Profundidade	2,78	2,04	1,70	1,36	2,02	0
216	Largura	0,23	0,19	0,15	0,12	0,10	0
	Profundidade	3,14	2,25	1,80	1,45	1,37	0
312	Largura	0,13	0,11	0,10	0,10	0,07	0
	Profundidade	3,45	1,90	1,64	1,45	1,18	0

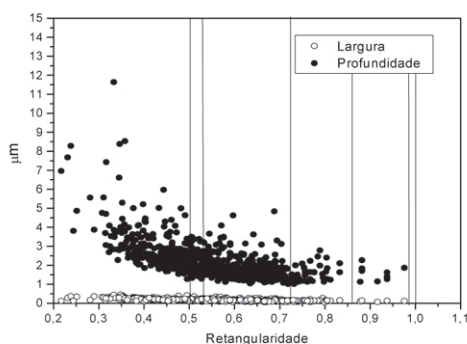


Figura 9 (a) - Tamanho dos pites formados na superfície do aço inox 304, tratado 620°C durante 24 horas e resfriado ao ar e submetido a testes de corrosão via névoa salina durante 48 h.

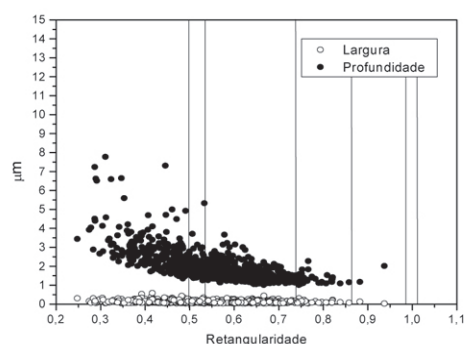


Figura 9 (b) - Tamanho dos pites formados na superfície do aço inox 304, tratado 620°C durante 24 horas e resfriado ao ar e submetido a testes de corrosão via névoa salina durante 312 h.

4. Conclusões

O material após o tratamento térmico de sensibilização apresentou a formação de carbeto de cromo no interior e contornos dos grãos, especificamente o aço inoxidável ABNT 304 mostrou-se em maior quantidade e microestrutura mais grosseira, contribuindo para o aumento da corrosão por pites, conforme os dados obtidos na análise superficial e dos perfis.

Na análise superficial no aço inox 304 como recebido exibiu-se a seguinte ordem na morfologia dos pites: hemisféricos > região de transição A > região de transição B > irregulares > cônicos, sendo que os pites são presentes em maiores quantidades em hemisféricos e na região de transição A. Os pites são mais largos que profundos, crescem preferencialmente na

largura. Os pites cilíndricos não foram observados no sistema.

Quando o material foi tratado, a cada tempo de exposição apresenta mesma ordem na quantidade de pites: região de transição B > hemisféricos > região de transição A > cônicos > irregulares, especialmente os pites são mais profundos que largos.

As mudanças significativas na distribuição morfológica e no tamanho dos pites no aço inoxidável 304 quando tratado, encontra-se correlacionado ao caráter da precipitação de carbeto de cromo em sua quantidade e forma.

Por meio da análise da mediana do tamanho da largura e profundidade dos pites revelou-se a seguinte ordem: irregulares > cônicos > região de transição A > hemisféricos > região de transição B.

5. Agradecimentos

Os autores agradecem a todos os funcionários da EEL-USP, Faculdades Integradas Teresa D'Ávila – FATEA e ao Centro Universitário de Volta Redonda – Mestrado Profissional em Materiais – MEMAT-UNIFOA. A TEKNO S.A. unidade de Guaratinguetá, SP pela realização dos testes de corrosão. Ao PROAP – CAPES e a UNESP - Campus de Guaratinguetá pelo apoio as atividades realizadas durante o trabalho.

6. Referências

1. **AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM B 117:** Standard practice for operation Salt Spray (fog) apparatus, Philadelphia, 1997.
2. **BRESLIN, C.B.; MACDONALD, D.D.; SIKORA,E.; SIKOLA,J.;** Photo-inhibition of pitting on types 304 and 316 stainless steels in chloride containing solution. *Electrochimica Acta*. V.42, 1997.p. 137-144.
3. **ERNEST, P.; N.J., LAYCOCK; M.H. MOAYED; NEWMAN, R.C.;** The Mechanism of Lacy Cover Formation in Pitting; *Corrosion Science*, vol. 39, 1997, 1133-1136p..
4. **FRANKEL; G.S.;** Pitting Corrosion of Metals; Review of the Critical Factors, *J. Electrochemical Society*, vol.145, n.6, 1998.
5. **JAYALAKSHMI, M.; MURALIDHARAM;** Empirical and deterministic models of pitting corrosion – an overview, vol 14, 1996.
6. **NEWMAN, R. C.; FRANZ E. M.;** Growth and Repassivation of Single Corrosion Pits in Stainless Steel, *NACE*, vol. 40, 1984.
7. **RIBEIRO, R.B.;** Análise morfológica de pites em aços inoxidáveis ABNT 304 e 310S submetidos à exposição em névoa salina. Tese de doutoramento em Engenharia Mecânica – Projetos e Materiais. Faculdade do Campus de Guaratinguetá - Universidade Estadual Paulista, UNESP. Guaratinguetá, 2004, 256p.
8. **SHREIR, L.L.;** Corrosion science Control; Newnes-Butterwords, 2rd. Ed., London, UK, 1978.
9. **SILVA,J.W.J.,**Efeito dos Oxions-Anions do grupo VIB sobre a Corrosão Aquosa das Ligas AL-2024 e Al 7050 utilizadas na Indústria Aeronáutica; Dissertação (Mestrado em Engenharia mecânica – Projetos e materiais) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá. Universidade Estadual Paulista, UNESP – Guaratinguetá, 2003, 119p.
10. **SZKLARSKA-SMIALOWSKA, Z.;** Insight into the pitting corrosion behavior of aluminum alloys. *Corrosion Science*, Oxford, v. 33, n. 8, p. 1193-1202, Ago. 1992.
11. **UHLIG, H.H.;** Corrosion and Corrosion Control; New York; John Willey & Sons, 1967

Endereço para Correspondência:

Rosinei Batista Ribeiro
rosinei.ribeiro@pq.cnpq.br
 Faculdades Integradas Teresa D'Ávila
 FATEA – SALESIANA
 Avenida Peixoto de Castro, 539
 Lorena - SP
 CEP 12606-580