

Copyright 2016, ABRACO

Trabalho apresentado durante o INTERCORR 2016, em Búzios/RJ no mês de maio de 2016.

As informações e opiniões contidas neste trabalho são de exclusiva responsabilidade do(s) autor(es).

## ANÁLISE DA CORROSIÃO DE AÇOS INOXIDÁVEIS AISI 430 E AISI 439 EM CORPOS DE PROVA COM DIFERENTES ACABAMENTOS SUPERFICIAIS NO SENTIDO TRANSVERSAL AO DE LAMINAÇÃO.

Péricles Bosquetti<sup>a</sup>, Ericson Rodrigues de Arruda<sup>b</sup>, Murício Angeloni<sup>c</sup>, José Roberto Garbin<sup>d</sup>,  
Laura Alves Coelho<sup>e</sup>

### *Abstract*

The aim of this study was to make the comparison between the mechanical properties and the corrosion resistance of stainless steel AISI 430 and AISI 439 in different types of surface finish using test specimens that were taken from plates of these materials, so that the direction of the lamination of the plates was transverse to the printed specimens. For this work, there were immersion tests in ferric chloride solution, followed by destructive testing of tensile test specimens according to ASTM-E/8. Thus, there was the immersion of the test specimens with different surface finishes in ferric chloride solution, different residence times of 3, 6 and 10 days at room temperature. After these tests, the same test specimens were evaluated for the presence of pitting corrosion by visual analysis and through the aid of an optical microscope and then they were evaluated for changes in their mechanical properties such as strength and percentage of elongation, watching themselves for the interference of the corrosion process with the transverse direction of the lamination. As results, we had that after the immersion test, the steel AISI 439 surface finish *rolled on* which retains the conserved passive layer, showed corrosion resistance far superior decrease compared to the same material with a brushed finish, where this passive layer is removed, forming many anodic regions. It also presented as superior to the AISI 430 *rolled on*, which can be explained by the presence of stabilizing elements such as titanium and vanadium in the chemical composition, which favors the oxidation resistance of the material. However, for the mechanical properties, when compared to normal samples, this is not immersed, the AISI 439 *rolled on* showed a significant decrease in the mechanical strength, which is probably due to the corrosive process that has been initiated by the edge regions of the test specimen to form "slots". The steel samples of AISI 430 with glossy surface finish showed the best results in both mechanical stability and in resistance to decrease corrosion from the steel and their surface finishes studied in this work.

**Keywords:** Ferritic Stainless Steel. Ferritic. Transversal Lamination. Pitting

<sup>a</sup> Dr., Professor de Ensino Superior – Faculdade de Tecnologia de Sertãozinho - FATEC

<sup>b</sup> Tecnólogo em Mecânica: Processos de Soldagem – SIMISA S.A.

<sup>c</sup> Dr., Professor de Ensino Superior – Faculdade de Tecnologia de Sertãozinho – FATEC

<sup>d</sup> Dr., Professor de Ensino Superior – Faculdade de Tecnologia de Sertãozinho - FATEC

<sup>e</sup> Professora de Ensino Superior – Faculdade de Tecnologia de Sertãozinho - FATEC

---

## Resumo

---

O objetivo deste trabalho foi realizar a comparação de propriedades mecânicas e de resistência à corrosão dos aços inoxidáveis AISI 430 e AISI 439 com diferentes tipos de acabamento superficial por meio de corpos de prova que foram retirados de chapas destes materiais, de forma que o sentido de laminação das chapas fosse transversal ao dos corpos de prova estampados. Para este trabalho, realizaram-se ensaios de imersão em solução de cloreto férrico, seguida por ensaio destrutivo de tração em corpos de prova conforme norma ASTM-E/8. Desta forma, fez-se a imersão dos corpos de prova de distintos acabamentos superficiais numa solução de cloreto férrico, durante três diferentes períodos de permanência: 3, 6 e 10 dias à temperatura ambiente. Após estes ensaios, os mesmos corpos de prova foram avaliados quanto à presença de pites de corrosão por análise visual e através do uso de um microscópio ótico e, em seguida, foram avaliados quanto às variações das propriedades mecânicas como resistência mecânica e % alongamento, observando-se a interferência do processo corrosivo com o sentido transversal ao de laminação. Como resultados, tivemos que, após os ensaios de imersão, o aço AISI 439 de acabamento superficial *rolled on*, que mantém a camada passiva superficial, apresentou resistência à corrosão por pites muito superior se comparado ao mesmo material com acabamento escovado, onde esta camada passiva é removida, originando muitas regiões anódicas. Também este mesmo aço apresentou-se superior ao AISI 430 *rolled on*, o que pode ser explicado pela presença de elementos estabilizadores como o titânio e o vanádio na composição química, que favorece a resistência à oxidação do material. Porém, quanto às propriedades mecânicas, se comparado às amostras originais, isto é não imersas, o AISI 439 *rolled on* apresentou significativa perda da resistência mecânica, o que se deve provavelmente devido o processo corrosivo ter se iniciado pelas regiões de borda dos corpos de prova, formando “entalhes”. As amostras do aço AISI 430 de acabamento superficial brilhante foram as que apresentaram os melhores resultados tanto em estabilidade mecânica quanto em resistência à corrosão por pites dentre os aços e seus respectivos acabamentos superficiais estudados neste trabalho.

**Palavras-Chave:** Aço Inoxidável Ferrítico. Sentido Transversal de Laminação. Pites

---

## Introdução

---

A expressão aço inoxidável, como é conhecido, passa a ideia de um material que não corrói mesmo que submetido às mais diversas condições de trabalho. Na verdade, esta classe dos aços apresenta uma maior resistência à corrosão, quando submetidos a um determinado meio, e também uma maior resistência à oxidação em altas temperaturas em relação às outras classes de aços.

Duas das classes destes aços foram estudadas neste trabalho que são dos aços inoxidáveis ferríticos AISI 430 e AISI 439 que possuem boas características de resistência à corrosão e baixo custo. Normalmente, o AISI 430 é o mais utilizado, porém se as condições ou exigências de projeto necessitarem de melhores características de estampagem, o AISI 439 é o mais indicado.

Atualmente, devido à constante busca por redução nos custos, as indústrias passaram a buscar alternativas para minimizar ou até mesmo eliminar o fenômeno da corrosão nas etapas de seus processos produtivos, o que levou ao aumento nas aplicações destes aços e,

consequentemente, o aumento da produção de aços inoxidáveis nas indústrias do Brasil e do mundo.

Neste trabalho foram apresentados os resultados da influência do sentido de laminação na resistência à corrosão desses materiais, bem como determinar por meio do ensaio de tração, se o sentido de laminação interfere nas suas propriedades e nas suas aplicações, e também se os tipos de acabamentos superficiais influenciam diretamente na corrosão, considerando o sentido transversal ao da laminação.

## Metodologia

Todos os corpos de prova para o experimento foram obtidos de *blanks* de chapas dos materiais que foram cortados por ferramentas de estampagem, em dimensões normalizadas, conforme ilustra Figura 1, sendo retiradas no sentido do comprimento transversal ao sentido de laminação. A Tabela 1 mostra os tipos dos aços inoxidáveis, os seus acabamentos superficiais e a quantidade de corpos de prova utilizados.

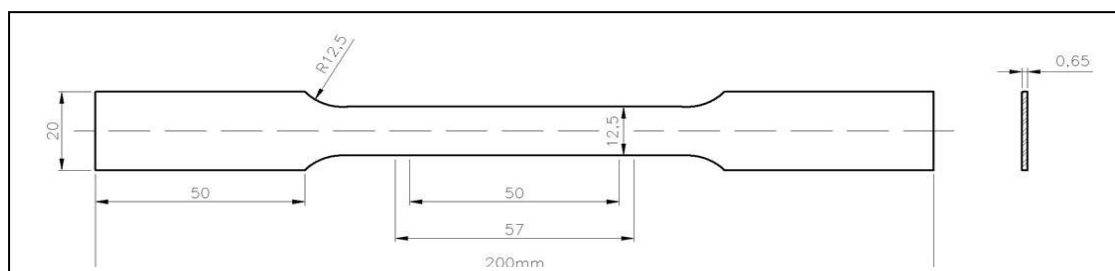


Figura 1 - Dimensões dos corpos de prova utilizados.

Tabela 1 - Tipos de aços e acabamentos superficiais utilizados.

Aços Inoxidáveis	Tipos de Acabamentos superficiais	Total de Corpos de prova
AISI 430	Brilhante	8
AISI 430	<i>Rolled on</i>	8
AISI 439	Escovado	8
AISI 439	<i>Rolled on</i>	8

Para o preparo dos ensaios de imersão, foram utilizados:

- 300 gramas de Cloreto Férrico PA;
- Três béqueres como recipientes para diluição e preparo da solução.
- três tigelas de vidro;
- filme de PVC;
- água destilada;
- verniz verde da marca Isotec, para proteção das regiões de corte;
- papel-toalha.
- espaçadores plásticos para evitar contato dos corpos de prova com o fundo do recipiente de vidro e entre eles;

### *Equipamentos utilizados*

Para o preparo e posteriormente a visualização e registro fotográfico dos corpos de prova e os ensaios mecânicos após os ensaios de imersão, utilizou-se:

- câmera digital Sony *cyber-shot* de 7.2 mega pixels;
- um secador;
- um microscópio óptico invertido da marca Zeiss com aumento de até 500x;
- uma máquina de ensaio de tração da marca Time Group com capacidade de 10 ton para as medidas de resistência mecânica (ensaio destrutivo de tração)
- para a avaliação da corrosão por perda de massa, utilizou-se uma balança analítica, da marca GEHAKA, modelo AG 200, com precisão de 0,0001g.
- um paquímetro digital da marca Mitutoyo.

### *Método*

Os corpos de prova foram retirados por estampagem utilizando-se um molde nas dimensões especificadas retirando-os de forma que a seção útil fosse transversal a direção de laminação. Em seguida, foram aplicadas duas demãos de um verniz em todo contorno de todos os corpos de prova que foram submetidos aos ensaios de imersão. A Figura 2 mostra um corpo de prova utilizado.



**Figura 2 - Aspecto de um corpo de prova utilizado nos ensaios.**

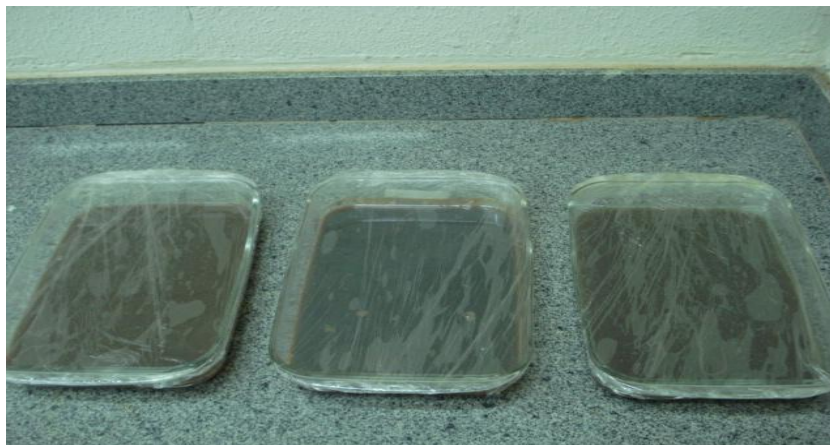
Os corpos de prova foram identificados conforme codificação criada e apresentada na Figura 3. Inicialmente os mesmos foram submetidos a medição de sua massa inicial.

<p><b>AISI 430 B 1 03</b></p> <p><b>AISI 430</b> - Identificação do aço inoxidável</p> <p><b>B</b> - Indica o tipo de acabamento: <b>B</b>- Brilhante <b>R</b>- <i>Rolled on</i> <b>E</b>- Escovado</p> <p><b>1</b> - Número da amostra</p> <p><b>03</b> - Tempo de ensaio de imersão (nº de dias)</p>
--

**Figura 3 - Modelo de identificação dos corpos de prova.**

Para realização dos ensaios de corrosão por imersão, preparou-se a solução corrosiva de cloreto férrico utilizando-se 100 gramas do cloreto férrico que foi diluído em 200 ml de água destilada, em cada um dos três béqueres, vedados com filme de PVC a fim de evitar evaporação e mantidos em descanso por 48 horas para garantir a dissolução do mesmo. Após

esse período, em cada um dos béqueres, foi adicionado água destilada até atingir 900 ml de solução de cloreto férrico. Então os corpos de prova foram dispostos em cima dos espaçadores dentro de bandejas de vidro e em seguida, adicionou-se a solução de forma a ficarem totalmente imersas, conforme a Figura 4, sendo que foram mantidos à temperatura de 25°C, variando em torno de 3°C para mais ou para menos.



**Figura 4 - Aspecto geral dos ensaios de imersão realizados.**

Utilizou-se conjuntos de duas amostras de cada, com o tipo do aço e seu acabamento superficial, conforme descrito na Tabela 2, ensaiando-se oito amostras em cada uma das três bandejas, totalizando 24 amostras em ensaios de imersão, que permaneceram imersas na solução de cloreto férrico por três diferentes períodos de tempo, conforme a Tabela 2.2.

**Tabela 2 - Períodos de permanência dos corpos de prova.**

Bandeja de ensaio	Tempo de permanência	Corpo de prova
Bandeja 1	3 dias	1 ao 8
Bandeja 2	6 dias	9 ao 16
Bandeja 3	10 dias	17 ao 24

Após o término de cada período dos ensaios de imersão, os corpos de prova foram lavados em água corrente e secados com secador e papel-toalha. Em seguida, em uma balança analítica de precisão, foi feita a medida de massa antes e após os ensaios de imersão, para avaliar a perda de massa da cada corpo de prova. Em seguida, os mesmos foram avaliados visualmente e em um microscópio óptico invertido para avaliar e quantificar os pites de corrosão, com o intuito de estudar o mecanismo de corrosão ocorrido.

Para avaliação da perda das propriedades mecânicas, foi realizado o ensaio mecânico destrutivo de tração de acordo com a norma ASTM E8/ E8M-11 em temperatura de 26°C, com velocidade de ensaio de 10 mm/min. A partir do valor da força aplicada no ensaio, fornecido pelo equipamento, foi calculado parâmetro de limite de resistência mecânica, dividindo o valor da força aplicada pela área da seção inicial do corpo de prova.

Por fim, para calcular o alongamento, antes de realizar o ensaio foram feitas duas marcações no corpo de prova o  $L_0$ , com comprimento de 50 mm entre as marcações, como referência. Após o ensaio as duas partes foram aproximadas de forma encaixar as partes fraturadas e é medida a distância entre as marcações com paquímetro, essa medida é o  $L_f$ . O

valor final do alongamento é determinado pela diferença entre o  $L_f$  e o  $L_0$ , dividido por  $L_0$ , multiplicando o resultado por cem para achar a porcentagem de alongamento.

## Resultados e discussão

### *Análise de perda de massa*

Os valores de massa obtidos dos corpos de prova antes e depois do ensaio de imersão e a porcentagem da perda de massa em relação à massa inicial estão descritos nas Tabelas 3, 4 e 5 para o aço inoxidável AISI 430, conforme os diferentes períodos de ensaios.

**Tabela 3 - Variações de massa do AISI 430 após três dias em ensaio de imersão.**

Amostras	Massa Inicial (g)	Massa Final (g)	Perda de Massa (%)
AISI 430 B 1 03	15,1405	14,0001	7,53%
AISI 430 B 2 03	14,4075	12,8448	10,85%
AISI 430 R 3 03	15,4375	14,0338	9,1%
AISI 430 R 4 03	15,0883	13,8417	8,3%

**Tabela 4 - Variações de massa do AISI 430 após seis dias em ensaio de imersão.**

Amostras	Massa Inicial (g)	Massa Final (g)	Perda de Massa (%)
AISI 430 B 9 06	14,2332	13,0291	8,46%
AISI 430 B 10 06	15,1343	13,9455	7,85%
AISI 430 R 11 06	15,2164	13,9631	8,24%
AISI 430 R 12 06	15,2260	13,7954	9,4%

**Tabela 5 - Variações de massa do AISI 430 após dez dias em ensaio de imersão.**

Amostras	Massa Inicial (g)	Massa Final (g)	Perda de Massa (%)
AISI 430 B 17 10	14,2260	12,6903	10,8%
AISI 430 B 18 10	15,1380	13,6987	9,5%
AISI 430 R 19 10	15,4288	13,8450	10,3%
AISI 430 R 20 10	14,6478	13,1669	10,1%

Nas amostras dos aços inoxidáveis AISI 430, das Tabelas descritas, não se observou significativa formação de pites. A corrosão ocorreu preferencialmente através das bordas e progrediu em direção ao centro do corpo de prova. Por isso não foram medidos tamanhos de pites.



Para o aço inoxidável AISI 439, os valores de massa obtidos antes e depois do ensaio de imersão e a porcentagem de perda de massa em relação à massa inicial estão descritos nas Tabelas 6, 7 e 8 relativos aos três períodos de permanência em imersão.

**Tabela 6 - Variações de massa, número e tamanho médio de pites de corrosão após três dias.**

Amostras	Massa Inicial (g)	Massa Final (g)	Perda de Massa (%)	Número de Pites (aprox.)	Tamanho médio de pites ( $\mu\text{m}$ )
AISI 439 E 5 03	14,8960	12,7122	14,7%	61	52,21
AISI 439 E 6 03	14,5923	12,4904	14,4%	83	51,56
AISI 439 R 7 03	15,6493	14,3845	8,1%	138	197,82
AISI 439 R 8 03	15,6535	14,4028	8%	173	132,0

**Tabela 7 - Variações de massa, número e tamanho médio de pites de corrosão após seis dias.**

Amostras	Massa Inicial (g)	Massa Final (g)	Perda de Massa (%)	Número de Pites (aprox.)	Tamanho Médio de pites ( $\mu\text{m}$ )
AISI 439 E 13 06	14,7845	12,3925	16,2%	66	500,14
AISI 439 E 14 06	15,5240	11,8791	23,5%	87	672,59
AISI 439 R 15 06	15,7196	14,5092	7,7%	186	572,59
AISI 439 R 16 06	15,6567	14,4733	7,5%	268	528,53

**Tabela 8 - Variações de massa, número e tamanho médio de pites de corrosão após dez dias.**

Amostras	Massa Inicial (g)	Massa Final (g)	Perda de Massa (%)	Número de pites (aprox.)	Tamanho Médio de pites ( $\mu\text{m}$ )
AISI 439 E 21 10	14,8238	12,5659	15,2%	84	846,06
AISI 439 E 22 10	14,3652	12,1554	15%	71	1219,46
AISI 439 R 23 10	15,6838	14,4795	7,7%	_____	1039,98
AISI 439 R 24 10	15,5959	14,0102	10,2%	_____	2337,39

### ***Análise da corrosão nos corpos de prova após ensaios de imersão***

Observando-se os corpos de prova AISI 430 B 1 03 e AISI 430 B 2 03 ao visual, não há pites de corrosão mesmo após três dias submetidos ao ensaio de imersão. A Figura 5 mostra que o processo corrosivo nestes corpos de prova, iniciou-se a partir das bordas da seção que sofreu corte na retirada do corpo de prova.



**Figura 5 - Corpo de prova AISI 430 B 1 03 após ensaio.**

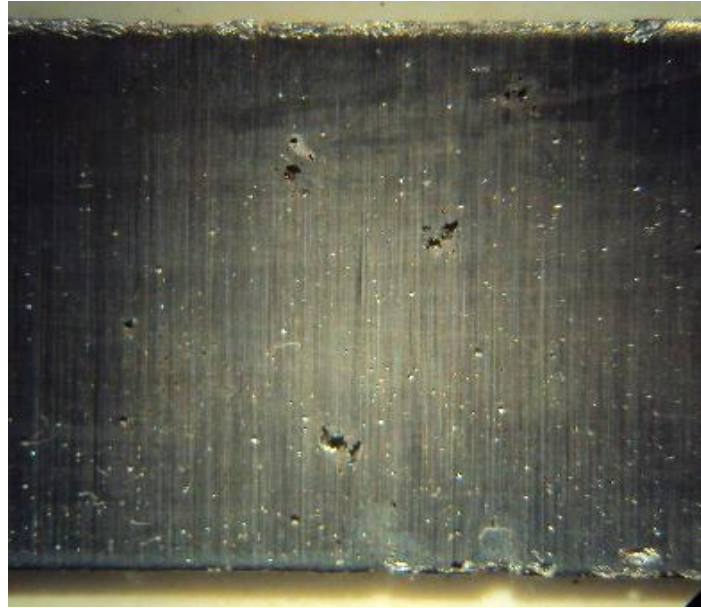
Nas amostras AISI 430 R 3 03 e AISI 430 R 4 03, também não foram visualizados pites mesmo após três dias de ensaios de imersão. Notou-se que o processo corrosivo também se iniciou a partir das regiões de borda deformadas pelo corte da amostra e, que a corrosão progrediu no sentido de laminação conforme ilustra a Figura 6.



**Figura 6 - Corpo de prova AISI 430 R 4 03 após ensaio.**

Nos corpos de prova AISI 439 E 5 03 e AISI 439 E 6 03, foram visualizados muitos pites de corrosão de diferentes tamanhos, sendo que os pites típicos apresentaram-se espalhados em ambas as amostras, atingindo cerca de 260 pites, com tamanho uniforme e em dimensões pouco perceptíveis a olho nu, conforme mostra a Figura 7. Os pites maiores, em torno de 50 aproximadamente, para cada amostra, estavam dispostos de uma forma aleatória e alguns desses pites perfuraram totalmente o corpo de prova como mostra a Figura 8, onde também foi evidenciado o processo corrosivo a partir das regiões de corte do corpo de prova, porém de uma forma bem menos intensa que nos aços AISI 430.





**Figura 7 - Corpo de prova AISI 439 E 6 03 após ensaio.**

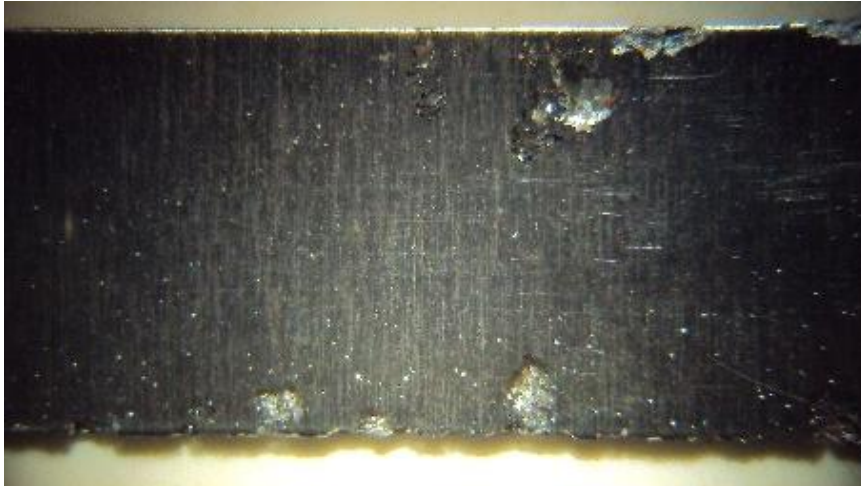


**Figura 8 - Corpo de prova AISI 439 E 5 03 após ensaio.**

Nas amostras AISI 439 R 7 03 e AISI 439 R 8 03, pode-se verificar em torno de 180 pites de corrosão, em geral extremamente pequenos, quase imperceptíveis a olho nu por todo corpo de prova. Foram contados também aproximadamente 50 pites de corrosão com diâmetro maior e bastante visível que perfuraram as amostras em alguns casos. Também foi observado o processo de corrosão à partir das bordas, na região de corte do corpo de prova, apresentadas nas Figuras 9 e 10.

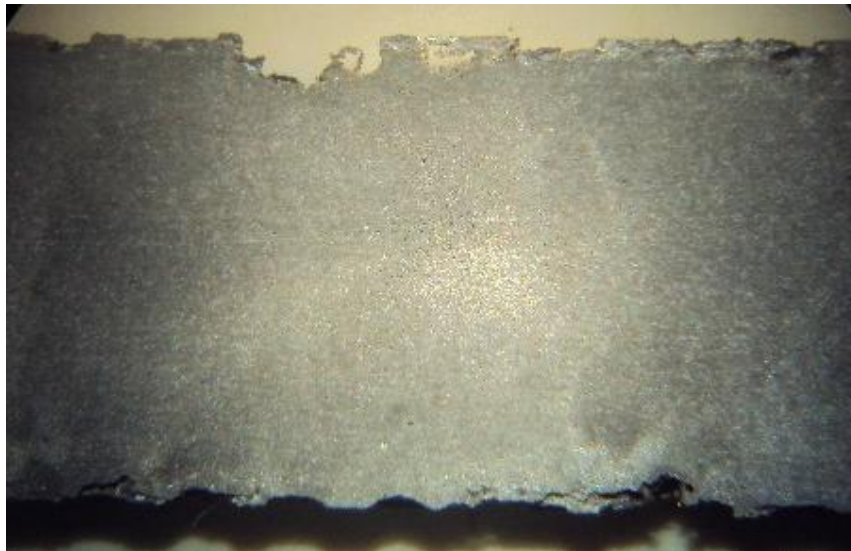


**Figura 9 - Corpo de prova AISI 439 R 8 03 após ensaio.**



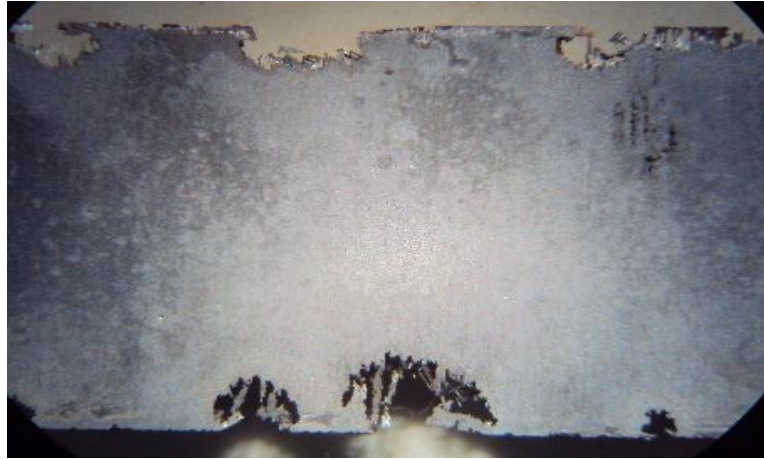
**Figura 10 - Corpo de prova AISI 439 R 8 03 após ensaio.**

Como era esperado, nas amostras do AISI 430 B 9 06 e AISI 430 B 10 06, a corrosão se iniciou nas regiões das bordas das amostras e de uma forma mais intensa do que as amostras submetidas ao ensaio de imersão por três dias. Notou-se também a presença de aproximadamente 40 pites de corrosão de tamanho pequeno, porém perceptíveis a olho nu e espalhados em toda superfície do corpo de prova e que, aparentemente, não chegaram a penetrar profundamente no material, conforme mostra a Figura 11.



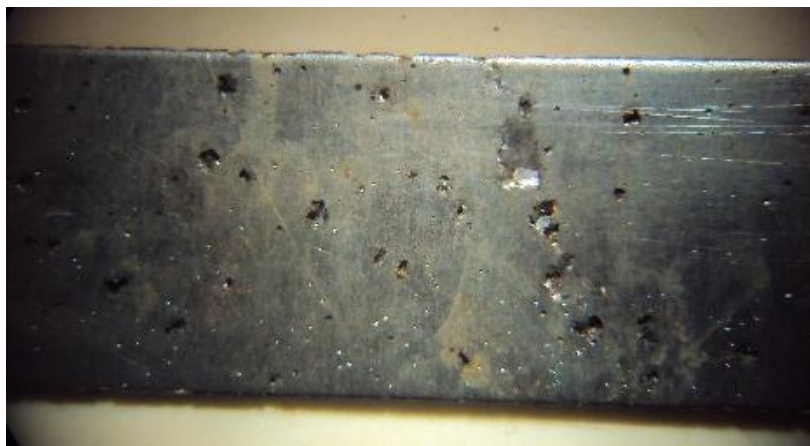
**Figura 11 - Corpo de prova AISI 430 B 10 06 após ensaio.**

Nos corpos de prova AISI 430 R 11 06 e AISI 430 R 12 06, verificou-se a presença de aproximadamente 30 de pites de corrosão perceptíveis a olho nu. Porém, notou-se também, um processo corrosivo mais intenso e severo à partir das regiões de corte, se comparado com as amostras de mesmo acabamento superficial submetidas ao ensaio de imersão por três dias. Foi verificado também que a corrosão se ramificou de um pite ao outro, progredindo no sentido de laminação do corpo de prova conforme a Figura 12.



**Figura 12 - Corpo de prova AISI 430 R 12 06 após ensaio.**

Nos corpos de prova AISI 439 E 13 06 e AISI 439 E 14 E 06, foram visualizados pites de corrosão de tamanho maior e também em maior quantidade, se comparado às amostras submetidas ao ensaio de imersão por três dias, e muitos desses pites encontrados, quase perfuraram o corpo de prova. Também notou-se uma quantidade muito maior de pites de corrosão pequenos, em média 260 pites, conforme ilustra a Figura 13.



**Figura 13 - Corpo de prova AISI 439 E 14 06 após ensaio.**

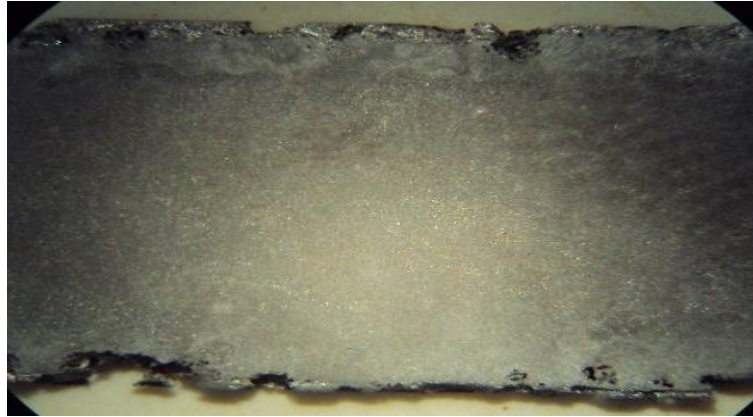
Nas amostras AISI 439 R 15 06 e AISI 439 R 16 06, foram encontrados na superfície, sendo aproximadamente 40 pites de corrosão e todos perfuraram a amostra. No entanto, a maioria dos pites, em torno de 200 visualizados na superfície, são quase imperceptíveis a olho nu conforme mostra a Figura 14.



**Figura 14 - Corpo de prova AISI 439 R 15 06 após ensaio.**



Nas amostras AISI 430 B 17 10 e AISI 430 B 18 10, foram verificados poucos e pequenos pites de corrosão na superfície do corpo de prova, aproximadamente 60 pites perceptíveis a olho nu e alguns até perfurando o material. De forma similar às amostras de mesmo acabamento superficial, submetidas ao ensaio por três e seis dias, verificou-se um processo de corrosão de forma mais intensa em toda a região de corte dos corpos de prova, conforme a Figura 15.

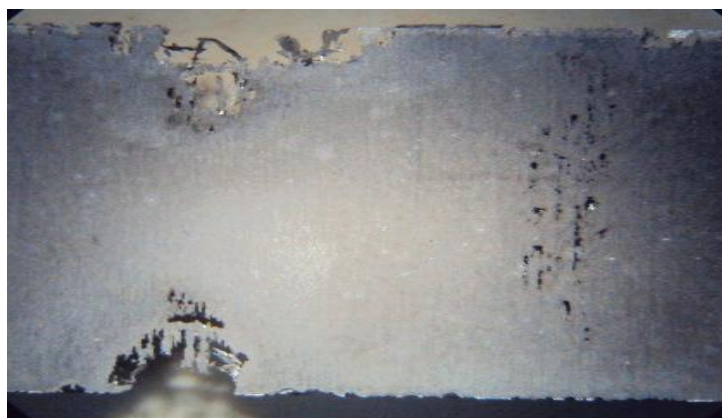


**Figura 15 - Corpo de prova AISI 430 B 17 10 após ensaio.**

Nos corpos de prova AISI 430 R 19 10 e AISI 430 R 20 10 verificou-se que, comparando com as amostras submetidas ao ensaio de imersão por três e seis dias, o processo de corrosão também se iniciou nas regiões de corte da amostra. Porém visualmente, conforme as Figuras 16 e 17, a extensão da corrosão é muito maior e mais agressiva e também progride no sentido de laminação e, em alguns pontos, quase chega a atingir a outra extremidade do corpo de prova.

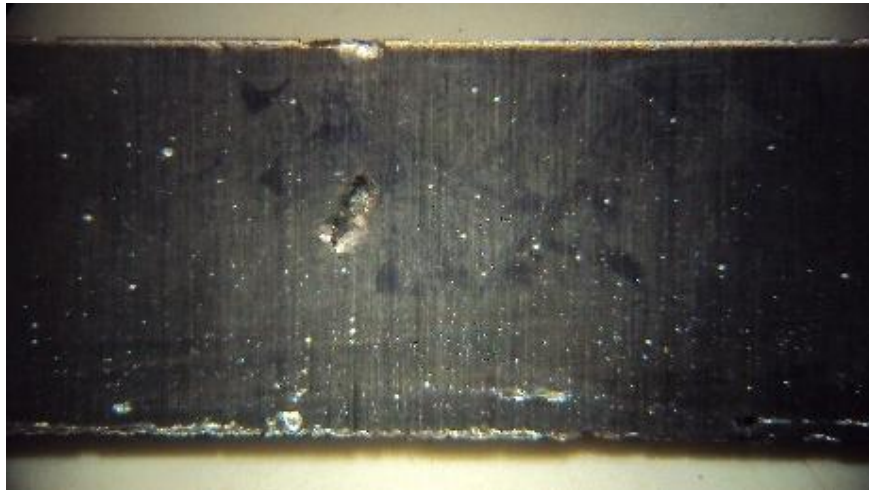


**Figura 16 - Corpo de prova AISI 430 R 19 10 após ensaio.**



**Figura 17 - Corpo de prova AISI 430 R 19 10 após ensaio.**

Nas amostras AISI 439 E 21 10 e AISI 439 E 22 10, verificou-se que os pites de corrosão típicos apresentaram, no geral, dimensões de até duas vezes maior se comparados às amostras de mesmo acabamento superficial no ensaio de imersão por seis dias, e a quantidade de pites também foi maior. Em alguns casos esses pites chegaram a perfurar o corpo de prova, conforme visto na Figura 18. Notou-se também que a quantidade dos pites perceptíveis aumentou significativamente, sendo visualizados em torno 240 pites de corrosão.



**Figura 18 - Corpo de prova AISI 439 E 22 10 após ensaio.**

Finalmente nas amostras AISI 439 R 23 10 e AISI 439 R 24 10, notou-se que o processo corrosivo a partir das regiões de corte praticamente se estabilizou em relação às amostras submetidas ao ensaio de imersão por seis dias, exceto somente em alguns pontos onde a corrosão por pites se mostrou de três à quatro vezes maior na sua extensão, conforme apresenta a Figura 19.



**Figura 19 - Corpo de prova AISI 439 R 23 10 após ensaio.**

### *Avaliações após o ensaio de tração*

Na Tabela 8, estão dispostos os valores do limite de resistência e a % alongamento após o ensaio destrutivo de tração para os corpos de prova AISI 439 *rolled on* que não foram submetidos ao ensaio de imersão.

**Tabela 8 - Tensão máxima e % alongamento do AISI 439 *rolled on*.**

<b>Corpo de prova</b>	<b>Limite de resistência (MPa)</b>	<b>% Alongamento</b>
AISI 439 R 27	442,6	30,6%
AISI 439 R 28	461,5	21,4%
AISI 439 R 29	396,4	30,5%

Na Tabela 9 estão os valores de limite de resistência e a % alongamento para o ensaio de tração dos corpos de prova AISI 439 *rolled on* que foram submetidos ao ensaio de imersão por três, seis e dez dias.

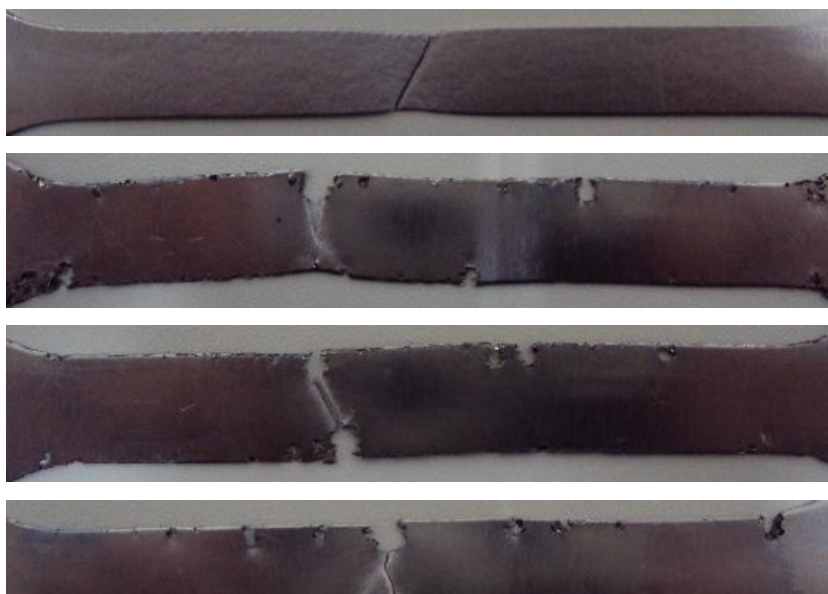
**Tabela 9 - Tensão máxima e % alongamento do AISI 439 após ensaio de imersão.**

<b>Corpo de prova</b>	<b>Limite de resistência (MPa)</b>	<b>% Alongamento</b>
AISI 439 R 7 03	292,9	8,6%
AISI 439 R 8 03	216,1	6,7%
AISI 439 R 15 06	286,5	8,6%
AISI 439 R 16 06	243,4	5,4%
AISI 439 R 23 10	321,6	6,5%
AISI 439 R 24 10	264,6	8,8%

A partir dos resultados encontrados na Tabela 9 dos corpos de prova de aço inoxidável AISI 439 de acabamento superficial *rolled on* que não foram submetidos ao ensaio de imersão, verificou-se inicialmente na Tabela 8, que houve uma diminuição muito significativa do limite de resistência mecânica. Mas isso ocorreu devido ao fato de que o processo corrosivo se iniciou a partir das regiões de borda que foram deformadas pelo corte das amostras, formando estas as regiões anódicas destas amostras. Neste caso, praticamente não foram visualizados pites de corrosão à olho nu ao longo do corpo das amostras. Isso diminuiu a área da secção da amostra, diminuindo a resistência local, de forma que estes pontos agem como sendo um entalhe para a ruptura da amostra, ocorrendo em tensões sensivelmente menores.

A Figura 20 apresenta o aspecto da fratura de alguns dos corpos de prova após o ensaio de tração.





**Figura 20 - Fratura dos corpos de prova AISI 439 rolled on.**

Observou-se também que a proporção da queda na resistência mecânica nas amostras que ficaram em imersão não está necessariamente relacionada diretamente com o tempo de imersão, e sim da progressão intensa do processo de corrosão somente em poucas áreas localizadas, conhecidas como regiões anódicas, visto que algumas amostras que ficaram maior tempo apresentaram maior resistência, pois o processo de corrosão ficou disperso em muitas áreas anódicas.

Na Tabela 10, estão dispostos os valores do limite de resistência e a % alongamento após o ensaio de tração para os corpos de prova AISI 439 escovado que não foram submetidos ao ensaio de imersão.

**Tabela 10 - Tensão máxima e % alongamento do AISI 439 escovado.**

Corpo de prova	Limite de resistência (MPa)	% Alongamento
AISI 439 E 30	415,2	33,1%
AISI 439 E 31	417,9	32,7%
AISI 439 E 32	415,3	31,5%

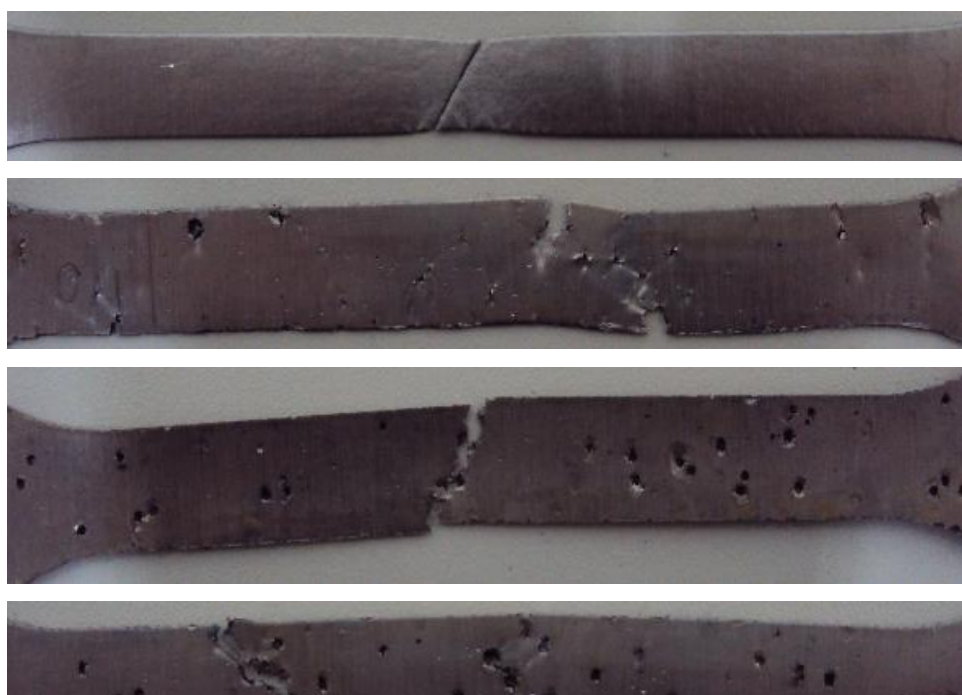
Na Tabela 11, estão dispostos os valores de limite de resistência e % alongamento para o ensaio de tração dos corpos de prova AISI 439 escovado que foram submetidos ao ensaio de imersão por três, seis e dez dias.

**Tabela 11 - Tensão Max. e %Alongamento do AISI 439 escovado após ensaio de imersão.**

Corpo de prova	Limite de resistência (MPa)	% Alongamento
AISI 439 E 5 03	209,3	6,6%
AISI 439 E 6 03	165,2	4,7%
AISI 439 E 13 06	_____	_____

AISI 439 E 14 06	94,9	4,5%
AISI 439 E 21 10	75,6	5,0%
AISI 439 E 22 10	103,6	2,9%

Em comparação com as amostras do AISI 439 de acabamento superficial escovado, a partir da Tabela 10 que não permaneceu em ensaio de imersão, verificou-se na Tabela 11 uma queda inicialmente muito acentuada no limite de resistência mecânica e após uma leve diminuição conforme aumentavam os períodos de tempo que as amostras ficaram submetidas ao ensaio de imersão. Nota-se ainda que praticamente não houve alongamento nessas amostras. A influência da evolução dos pites de corrosão no limite de resistência mecânica pode ser visualizado na Figura 21 de fratura dos corpos de prova AISI 439 escovado. Nota-se que as regiões fraturadas acompanham as secções com maior quantidade de pites, bem como as secções com os pites de maiores tamanhos, tornando a secção bastante frágil à ruptura, motivo pelo qual se verificam baixas % alongamento nestes ensaios.



**Figura 21 - Fratura dos corpos de prova AISI 439 escovado.**

Na Tabela 12, estão dispostos os valores do limite de resistência e a porcentagem do alongamento após o ensaio destrutivo de tração para os corpos de prova AISI 430 brilhante que não foram submetidos ao ensaio de imersão.

**Tabela 12 - Tensão máxima e % alongamento do AISI 430 brilhante.**

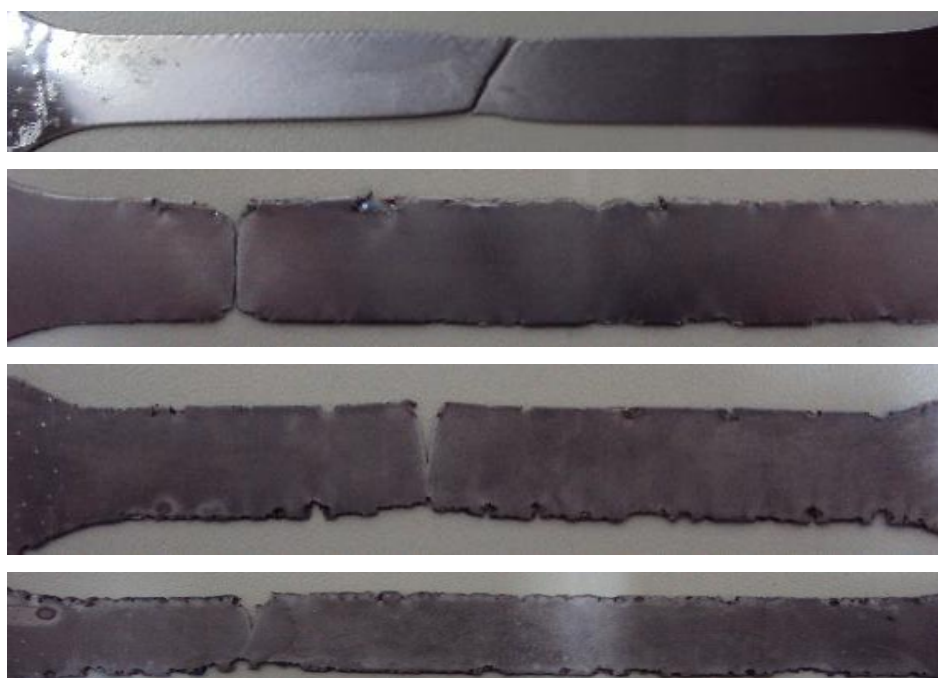
Corpo de prova	Limite de resistência(MPa)	% Alongamento
AISI 430 B 33	424,3	20,8%
AISI 430 B 34	425,6	31,1%
AISI 430 B 35	425,0	35,9%

Na Tabela 13, estão dispostos os valores de limite de resistência e a porcentagem do alongamento para o ensaio de tração dos corpos de prova AISI 430 brilhante que foram submetidos ao ensaio de imersão por três, seis e dez dias.

**Tabela 13 - Tensão máxima e % alongamento do AISI 430 após ensaio de imersão.**

Corpo de prova	Limite resistência (MPa)	% Alongamento
AISI 430 B 1 03	352,2	12,8%
AISI 430 B 2 03	308,3	13,7%
AISI 430 B 9 06	351,5	15,2%
AISI 430 B 10 06	303,4	9,9%
AISI 430 B 17 10	332,8	14,5%
AISI 430 B 18 10	336,3	10,7%

Analisando os resultados da Tabela 13 em relação à condição inicial dos corpos de prova de mesmo acabamento brilhante que não foram submetidos ao ensaio de imersão, descritos na Tabela 12, observa-se que as amostras apresentaram uma queda considerável no limite de resistência mecânica, e que as mesmas ocorreram nas secções com maior avanço da corrosão nas bordas. A Figura 22 mostra como se deu a fratura dos corpos de prova.



**Figura 22 - Fratura dos corpos de prova AISI 430 brilhante.**

No entanto, essa diminuição no limite de resistência mecânica permaneceu praticamente estável ao longo dos períodos de tempo que os corpos de prova permaneceram submetidos ao ensaio de imersão. Como nestes casos o processo de corrosão se deu praticamente apenas nas bordas e de forma espalhada ao longo de todo corpo de prova, as perdas foram similares, pois em todos os ensaios essas áreas corroídas agiram como pequenos

entalhes, favorecendo a propagação de ruptura em todas as amostras, nos três períodos de imersão ensaiados.

Na Tabela 14, estão dispostos os valores do limite de resistência e a % alongamento após o ensaio de tração para os corpos de prova AISI 430 *rolled on* que não foram submetidos ao ensaio de imersão.

**Tabela 14 - Tensão máxima e % alongamento do AISI 430 *rolled on*.**

<b>Corpo de prova</b>	<b>Limite de resistência (MPa)</b>	<b>% Alongamento</b>
AISI 430 R 36	507,8	27,6%
AISI 430 R 37	505,4	26,9%

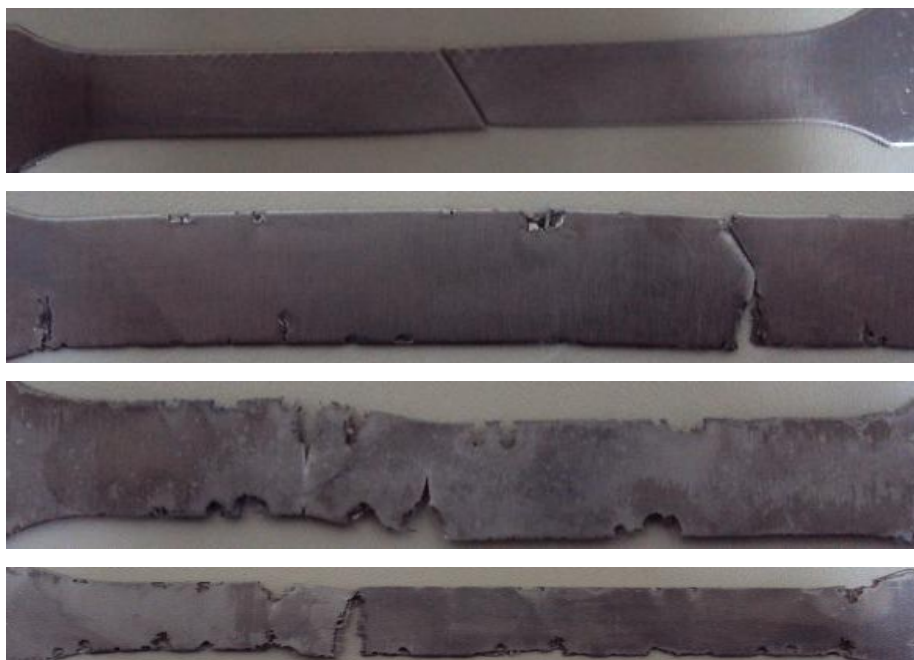
Na Tabela 15, estão dispostos os valores de limite de resistência e % alongamento para o ensaio de tração dos corpos de prova AISI 430 *rolled on* que foram submetidos ao ensaio de imersão por três, seis e dez dias.

**Tabela 15 - Tensão máxima e % alongamento do AISI 430 após ensaio de imersão.**

<b>Corpo de prova</b>	<b>Limite de resistência (MPa)</b>	<b>% Alongamento</b>
AISI 430 R 3 03	260,4	3,4%
AISI 430 R 4 03	240,1	2,5%
AISI 430 R 11 06	229,5	5,3%
AISI 430 R 12 06	201,5	6,7%
AISI 430 R 19 10	63,2	1,5%
AISI 430 R 20 10	211,3	3,3%

A partir da Tabela 14 do aço AISI 430 de acabamento superficial *rolled on* dos corpos de prova não submetidos ao ensaio de imersão, temos que inicialmente, o seu limite de resistência mecânica é maior se comparado ao AISI 430 de acabamento brilhante. No entanto, após os ensaios de imersão, conforme Tabela 15, mostraram uma queda substancial no limite de resistência, aproximadamente duas vezes maior, se comparado ao AISI 430 brilhante. E de fato, essa queda no limite de resistência mecânica progrediu à medida que foram maiores os períodos de tempo em que as amostras permaneceram submetidas ao ensaio de imersão.

Cabe ainda salientar que o efeito da diminuição no limite de resistência mecânica e consequentemente no alongamento nas amostras, ocorreram devido ao severo ataque corrosivo a partir das regiões de borda das amostras progredindo no sentido de laminação, conforme mostra a Figura 23 que ilustra como ocorreram as fraturas dos corpos de prova. Destaca-se ainda que não foram visualizados pites de corrosão a olho nu no corpo nestas amostras.



**Figura 23 - Fratura dos corpos de prova AISI 430 *rolled on*.**

## Conclusões

Através dos resultados obtidos, pode-se concluir que a aplicação do verniz em todo o contorno das regiões de corte dos corpos de prova se mostrou ineficaz frente ao ensaio de imersão em cloreto férrico em todas as amostras. E que também, em quase todos os corpos de prova ocorreram, em diferentes graus, o processo de corrosão a partir das regiões anódicas formadas nas bordas pela deformação ocasionada pelo corte da amostra.

Nesse contexto, dentre todas as amostras, bem como os seus respectivos acabamentos superficiais, as amostras do aço AISI 439 escovado foram as que apresentaram os piores resultados no tocante a resistência à corrosão devido à quantidade e tamanho dos pites de corrosão, que foram encontrados em toda superfície do corpo de prova, causando assim um efeito bastante danoso ao limite de resistência mecânica do material. Isso se deve provavelmente ao processo de escovação, que gera inúmeras heterogeneidades, com muitos pontos anódicos e catódicos próximos, formando inúmeras micropilhas e originando assim, um grande número de pites de corrosão que foram visualizados.

Já o aço inoxidável AISI 439 *rolled on* apresentou um acabamento superficial mais eficiente em relação ao processo de corrosão por pites, se compararmos ao mesmo aço, mas com acabamento superficial escovado. Isso provavelmente se deve ao processo de leve deformação da superfície ocasionada pela laminadora nas etapas finais da laminação, portanto, sem retirar material nem a camada natural de apassivação como na escovação. Porém o processo corrosivo gerado a partir das regiões de corte das amostras foi bem mais agressivo, prejudicando assim o limite de resistência do material, embora de forma mais branda se comparado ao acabamento superficial escovado.

Dentre todos os aços e seus respectivos acabamentos superficiais o que apresentou os melhores resultados tanto de resistência à corrosão por pites quanto ao limite de resistência mecânica foi o AISI 430 com acabamento superficial brilhante.



Em contrapartida o AISI 430 com acabamento *rolled on* foi o que apresentou os resultados com mais baixa resistência mecânica após os ensaios de corrosão. Isso se deve devido ao processo corrosivo extremamente agressivo iniciado a partir das regiões de corte das amostras e, ter se propagado no sentido de laminação do aço, sendo bastante crítica neste processo. Soma-se ainda ao fato deste aço não possuir alguns elementos de liga que agem como estabilizadores de carbonetos e que acabam favorecendo a resistência a corrosão por pites, como o Vanádio (V) e o Titânio (Ti), que estão presentes nos aços inox AISI 439. Estes aspectos podem ter favorecido aos resultados ligeiramente superiores dos diferentes aços com a mesma superfície de acabamento do tipo *Rolled on*.

Conclui-se assim que a intensidade e o mecanismo dos processos de corrosão dependem de muitos fatores além do material propriamente dito. Assim, a composição, a remoção da camada passiva da superfície, a deformação local ocasionada pelo corte das amostras, o acabamento superficial, a direção de laminação das chapas, são alguns destes muitos fatores que interferem no processo corrosivo.

### Referências bibliográficas

- (1) ABAL. Laminação. Disponível em <<http://www.abal.org.br/aluminio/processos-de-producao/laminacao/>>. Acesso 19 de out. de 2015.
- (2) ABINOX. Acabamentos superficiais. Disponível em <<http://www.abinox.org.br/biblioteca-tecnica-artigos-detelhes.php?bsc=&coditem=115&q=ACABAMENTOS+DOS+%C7OS+INOX>>. Acesso 25 de jun. de 2015.
- (3) APERAM. Acabamentos superficiais. Disponível em <[http://www.aperam.com/brazil/port/produtos\\_servicos/sucroalcooleiro/pdfs/apostila\\_tecnica.pdf](http://www.aperam.com/brazil/port/produtos_servicos/sucroalcooleiro/pdfs/apostila_tecnica.pdf)>. Acesso 11 de jun. de 2015.
- (4) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE QUÍMICA. Corrosão por pites. Disponível em <<http://www.abq.org.br/cbq/2006/trabalhos2006/3/413-589-3-T1.htmfoto>>. Acesso 03 de abr. de 2015.
- (5) CALLISTER, Jr., William D. **Ciência e Engenharia de Materiais Uma Introdução**. 7.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.
- (6) CHIAVERINI, Vicente. **Aços e ferros fundidos**. 7.ed. São Paulo: ABM, 2008.
- (7) CULTURA AERONÁUTICA. Corrosão intergranular. Disponível em <<http://culturaaeronautica.blogspot.com.br/2011/10/quanto-tempo-dura-um-aviao-comercial.html>>. Acesso 22 de maio de 2015.
- (8) FEITAL. Tabela de composição química. Disponível em <<http://www.feital.com.br/wp-content/uploads/feital/2012/03/chapas-de-aco-inoxidavel.pdf>>. Acesso 28 de abr. de 2015.
- (9) GENTIL, Vicente. **Corrosão**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011.
- (10) GUERDAU. Aeração diferencial. Disponível em <[http://www.gerdau.com.br/gerdauacominas/br/produtos/pdfs/manual\\_corrosao.pdf](http://www.gerdau.com.br/gerdauacominas/br/produtos/pdfs/manual_corrosao.pdf)>. Acesso 02 de jun. de 2015.
- (11) INSPEÇÃO E EQUIPAMENTOS. Corrosão em fresta. Disponível em <<http://inspecaoequipto.blogspot.com.br/2014/01/caso-055-corrosao-por-fresta-em.html>>. Acesso 18 de abr. de 2015.
- (12) MOURÃO, Marcelo B; YOKOJI, Akira; MALYNOWSKJ, Antonio; et al. **Introdução à siderurgia**. São Paulo: ABM, 2007.
- (13) RAMANATHAN, Laugugi. V. **Corrosão e seu controle**. São Paulo: Hemus, s.d.
- (14) SLIDEPLAYER. Corrosão sob tensão. Disponível em <<http://slideplayer.com.br/slide/361681/>>. Acesso 01 de jun. de 2015.