

# AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA A CORROSÃO DO AÇO SAE 1080 EM SOLUÇÃO DE ÁCIDO SULFÚRICO E ÁGUA \*

Gustavo Henrique Sousa<sup>1</sup>  
Guilherme Vitor de Araújo<sup>2</sup>  
Geziane Correa da Silva<sup>3</sup>  
Hydia Thaisa Camargos Fonseca<sup>4</sup>  
Lídia Fernanda Silva Pereira<sup>5</sup>  
Athos Fernandes Araujo<sup>6</sup>

## Resumo

Este trabalho estuda a resistência à corrosão do aço SAE 1080, que é empregado na fabricação de peças para a indústria automobilística. O aço foi imerso em água e em soluções de ácido sulfúrico com concentrações de 1,5 M e 3 M durante o período de 50 dias em temperatura ambiente. Para avaliar o efeito da corrosão e sua influência na resistência mecânica do aço SAE 1080, foi realizado o cálculo de perda de massa e ensaio de tração. Foi observado maior perda de massa nas amostras imersas em concentrações de 3 M de ácido sulfúrico, assim como uma diminuição de 202MPa no limite de resistência. A amostra imersa em água não apresentou corrosão significativa.

**Palavras-chave:** Resistência a corrosão; Aço SAE 1080; Ensaio de tração

## EVALUATION OF CORROSION RESISTANCE TO SAE 1080 STEEL IN SULFURIC ACID AND WATER

### Abstract

This paper studies the corrosion resistance of SAE 1080 steel, which is used in the manufacture of parts for the automotive industry. The steel was immersed in water and sulfuric acid solutions with concentrations of 1.5 M and 3 M during the period of 50 days at room temperature. To evaluate the effect of corrosion and its influence on the mechanical strength of SAE 1080 steel, the calculation of mass loss and tensile tests was performed. Greater mass loss was observed in samples immersed in 3 M concentrations of sulfuric acid, as well as a decrease of 202MPa in tensile strength. The sample immersed in water showed no significant corrosion.

**Keywords:** Resistance to corrosion; SAE steel 1080; Tensile Test.

<sup>1</sup> Engenharia Metalúrgica, Mestrando, Departamento de Engenharia Metalúrgica e Materiais, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.

<sup>2</sup> Engenharia Metalúrgica, Graduado, Departamento de Engenharia Metalúrgica, Universidade do Estado de Minas Gerais, João Monlevade, MG, Brasil.

<sup>3</sup> Engenharia Metalúrgica, Graduada, Departamento de Engenharia Metalúrgica, Universidade do Estado de Minas Gerais, João Monlevade, MG, Brasil.

<sup>4</sup> Engenharia Metalúrgica, Graduada, Departamento de Engenharia Metalúrgica, Universidade do Estado de Minas Gerais, João Monlevade, MG, Brasil.

<sup>5</sup> Engenharia Metalúrgica, Graduada, Departamento de Engenharia Metalúrgica, Universidade do Estado de Minas Gerais, João Monlevade, MG, Brasil.

<sup>6</sup> Engenharia Metalúrgica, Mestrando, Departamento de Engenharia Metalúrgica e Materiais, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.

## 1 INTRODUÇÃO

Há uma grande variedade de materiais utilizados no mundo contemporâneo, mas o aço continua sendo o mais empregado na maioria dos segmentos de bens de produção [1]. Aço é uma denominação genérica para ligas de ferro e carbono, sendo os mais comuns o aço-carbono que contém entre 0,2 e 15% de carbono, e o aço inoxidável que, além desses elementos, contém cromo e, em alguns casos, níquel. Apesar de ser mais suscetível à corrosão, por sua menor relação custo/resistência mecânica e a facilidade de solda e conformação, o aço-carbono é o material mais utilizado em instalações industriais [2]. O aço SAE 1080 estudado neste artigo é empregado na construção mecânica principalmente para a fabricação de molas, eixos de comandos de válvulas, engrenagens para caminhões, coroas, pinhões e virabrequins, dentre outros produtos que são expostos a grandes tensões exigidas de conformação, necessitando de tenacidade e resistência mecânica.

As propriedades mecânicas constituem as características mais importantes dos metais quando aplicados no campo da engenharia. Estas propriedades descrevem o comportamento de um material quando exposto a esforços mecânicos e relaciona-se às propriedades que, num determinado material, define a sua capacidade de transmitir e resistir às tensões que lhe são aplicados, sem romper ou sem que se constatar deformações incontroláveis [3].

A corrosão por definição é a deterioração de um material por ação química ou eletroquímica do meio ambiente, que transforma os materiais ao longo do tempo de exposição, comprometendo sua durabilidade e desempenho. Por ser um processo espontâneo e irreversível, a corrosão é o principal responsável pelos altos custos de manutenção e equipamentos. O conhecimento do comportamento do material em um meio corrosivo pode minimizar os problemas causados pela corrosão [4]. Pelo fato de ser quase impossível prevenir a corrosão, o controle da taxa de corrosão está se tornando a solução mais viável economicamente [5-7]. A corrosão em metais influencia na questão de segurança, podendo resultar em fraturas repentinas de partes críticas em automóveis causando desastres que podem envolver perda de vidas humanas, além de prejuízos financeiros decorrentes de substituição de peças e manutenção [4].

Este trabalho tem o objetivo de estudar o comportamento do aço SAE 1080 em meio aquoso e em solução de ácido sulfúrico. Esses dois meios que as amostras foram imersas foram escolhidos por serem os principais meios de corrosão a que este aço é exposto. Devido ao seu emprego em automóveis, há muito contato deste aço com águas de chuva, como também podem estar expostos em locais onde há ocorrência de chuva ácida. As amostras desse material foram imersas em água e em soluções de ácido sulfúrico com concentrações de 1,5 M e 3 M durante o período de 50 dias em temperatura ambiente. Após a corrosão as amostras foram submetidas ao teste de tração visando avaliar as propriedades mecânicas do material corroído. Para a avaliação da corrosão além do teste de tração foi realizado os cálculos de perda de massa podendo-se observar como o aço se comportou em cada meio.

## 2 DESENVOLVIMENTO

### 2.1 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste trabalho foram utilizadas amostras de aço SAE 1080 cedidas pela empresa ArcelorMittal – João Monlevade/MG, cuja a composição química é descrita na

Tabela1. Foram utilizadas seis amostras deste aço, que foram divididas em três grupos, no qual cada grupo era composto por duas amostras, conforme descritos a seguir:

Grupo I: Duas amostras de aço 1080 imersas em água;

Grupo II: Duas amostras de aço 1080 imersas em solução ácida de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1,5 M;

Grupo III: Duas amostras de aço 1080 imersas em solução ácida de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 3 M;

Tabela 1: Composição química do aço SAE 1080

Elemento Químico	Composição (%)
Carbono	0,805
Enxofre	0,008
Manganês	0,515
Fósforo	0,008
Silício	0,210
Alumínio	0,001
Cromo	0,0168
Cobre	0,0164
Níquel	0,0123
Molibdênio	0,0031
Nitrogênio	0,0045

O processo de corrosão das amostras foi verificado semanalmente durante 50 dias. Foi utilizado um multímetro para determinar a voltagem e um pHmetro para medir o pH das soluções. Após a finalização do processo corrosivo, foram retiradas as amostras das soluções, realizando uma inspeção visual da corrosão ocorrida em cada amostra e posteriormente foi feito à limpeza da sua superfície, a fim de retirar massas depositadas resultante da ação corrosiva. Para analisar a variação das massas, as amostras foram pesadas utilizando uma balança analítica.

Para melhor avaliar o efeito corrosivo das amostras foram realizados os cálculos da taxa de corrosão [4]. Considerando que a taxa de corrosão do material é descrita pelo cálculo da perda de milésimos de polegada por ano (mpy) Equação 1:

$$mpy = \frac{W \cdot K}{A \cdot t \cdot d} \quad (1)$$

onde:

K = constante que vale 534;

W = perda de massa, expressa em miligramas (mg)= mgi-mgf;

A = área do corpo de prova exposta (in<sup>2</sup>);

t = tempo de exposição (horas);

d = densidade (para o aço vale 7,85 g/cm<sup>3</sup>).

Segundo [4], o resultado do cálculo é dividido em três grupos, de acordo com a sua taxa de corrosão. São eles:

- Menor que 5 mpy, são metais com boa resistência à corrosão, tanto que são apropriados para partes críticas de equipamentos;
- Entre 5 e 50 mpy, metais usados no caso em que uma alta taxa de corrosão é tolerada como, por exemplo, em tanques, tubulações, corpo de válvulas;

- c) Maior que 50 mpy, metais pouco resistentes, daí não ser recomendado o uso dos mesmos.

O cálculo da taxa de corrosão foi realizado para cada amostra do experimento. A taxa de penetração da corrosão (TPC) pode ser mensurada pela Equação 2. E esta pode também ser um método comparativo para identificar a resistência à corrosão dos materiais [4].

$$TPC(mm/ano) = \frac{K \cdot W}{d \cdot A \cdot t} \quad (2)$$

onde:

K = constante que vale 87,6;

W = perda de massa, expressa em miligramas (mg) =  $m_i - m_f$ ;

A = área do corpo de prova exposta (cm<sup>2</sup>);

t = tempo de exposição (horas);

d = densidade (para o aço vale 7,85 g/cm<sup>3</sup>);

Para determinar se houve mudança nas propriedades mecânicas das amostras após o processo corrosivo, foi realizado teste de tração em temperatura ambiente na máquina de tração Instron Company- modelo 5966 com velocidade de 7mm/min. Os resultados foram apresentados para comparação na forma de gráficos em função dos resultados obtidos das curvas tensão-deformação.

## 2.2 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na primeira etapa do trabalho as amostras foram previamente identificadas. Para cada amostra, foi avaliada a massa, comprimento e diâmetro. Os resultados são apresentados na Tabela 2. Através da análise visual, a corrosão observada com mais intensidade foi a formação de óxido de ferro nas amostras do Grupo II e Grupo III. Esta oxidação apresentou uma coloração marrom avermelhada, que se depositou na superfície do material e também se apresentou dispersa na solução, dando a ela uma coloração amarelada.

As amostras do Grupo I também sofreram oxidação, tendo a formação de óxido de ferro, mas em menor proporção comparado aos outros grupos. A Figura 1 apresentada abaixo mostra o processo de corrosão no aço nas soluções em estudo, evidenciando as diferentes colorações das soluções devido principalmente à diferença da taxa de corrosão em cada meio.

Tabela 2: Relação de medidas físicas das amostras

Grupo	Amostra	Massa (g)	Comprimento (cm)	Diâmetro (cm)
I	1	48,3324	26,3	0,52
	2	48,7637	26,0	0,52
II	3	52,0237	27,7	0,52
	4	49,6926	27,1	0,52
III	5	44,1875	24,2	0,52
	6	54,2755	29,4	0,52



Figura 1: Amostras em meio corrosivo após quinze dias, da esquerda para direita Gupo 2 - Grupo3 – Grupo 1.

A verificação da voltagem e pH foi acompanhado semanalmente, onde se pode observar que houve uma diminuição da voltagem e do pH, o que era esperado, uma vez que iniciado o processo de corrosão há a troca dos íons presentes em solução, variando então a diferença de potencial entre o metal e o meio corrosivo. Devido à evaporação das soluções, semanalmente foi adicionada soluções complementares a fim de manter o mesmo pH das soluções durante o tempo estipulado para o estudo da corrosão.

Após cinquenta dias, as amostras foram retiradas e limpas. Sendo possível observar que todas as amostras apresentaram corrosão, mas as expostas ao ácido tiveram maior gravidade (Figura 2). Através da observação e de análises visuais foi possível identificar que a corrosão nas soluções contendo água são do tipo alveolar e nas soluções ácidas ocorreu a corrosão por placas, tendo a formação do óxido de ferro III (ferrugem) em grande parte das amostras.



Figura 2: Amostras de aço 1080 após cinquenta dias em processo corrosivo.

Os resultados das massas finais são apresentados na Tabela 3, onde se observa maior perda de massa nas amostras imersas em ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) em maior concentração, 3 M. É apresentado na Figura 3 um gráfico comparativo entre as massas iniciais e finais.

Tabela 3: Massa final e perda de massa das amostras após o processo corrosivo

Grupo	Amostra	Massa Final (g)	Perda de Massa (g)
I	1	48,11	0,22
	2	48,67	0,09
II	3	50,86	1,16
	4	48,49	1,20
III	5	42,48	1,71
	6	52,42	1,86

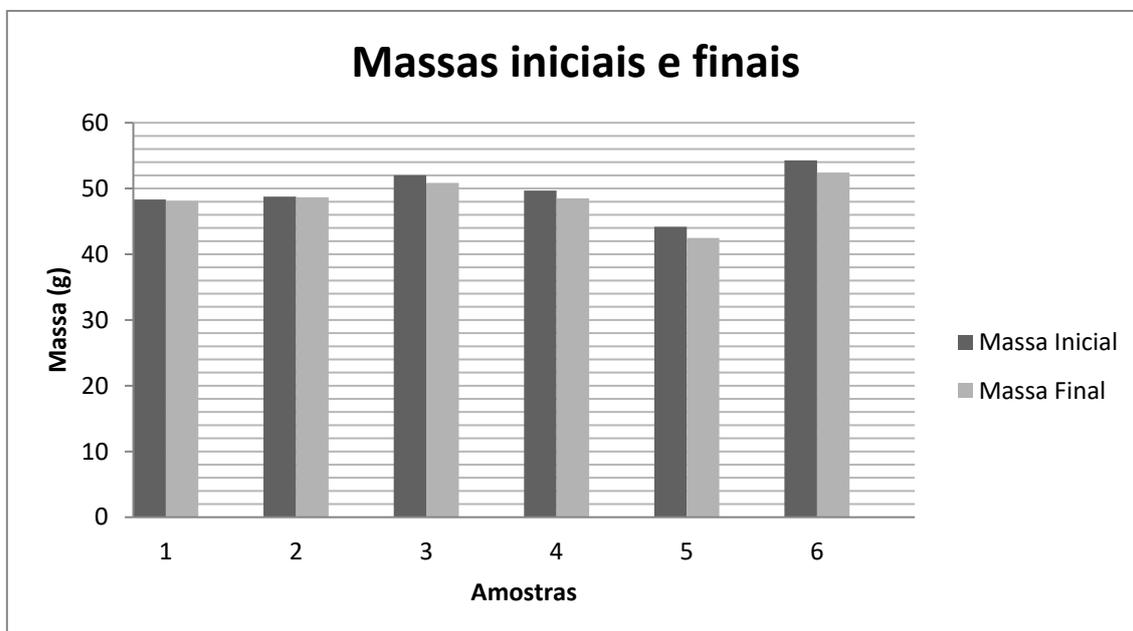


Figura 3: Gráfico comparativo entre as massas iniciais e finais.

Os resultados obtidos pelo cálculo da taxa de corrosão mostraram que o aço em estudo são resistentes ao ambiente corrosivo em que foi exposto porque sua taxa de corrosão ficou muito abaixo de 5 mpy. Taxas abaixo deste valor são definidas como boa resistência à corrosão [4,6,7]. A Tabela 4 apresenta os resultados da taxa de corrosão para cada grupo de amostra. Notou-se um aumento da taxa de corrosão com o aumento da concentração de ácido. Isto também foi observado nos estudos de [8]. Estes pesquisadores também estudaram o comportamento de corrosão de aços com alto teor de carbono em vários meios ácidos e relataram que a taxa de corrosão aumenta com o aumento da concentração dos meios corrosivos e tempo de exposição. Além disso, as taxas de corrosão do aço com alto teor de carbono em todos os meios ácidos foram superiores às do aço macio devido ao carbono.

Tabela 4: Resultado do cálculo da taxa de corrosão

Grupo	Amostra	Taxa de Corrosão (mpy)
I	1	0,0161
	2	0,0066
II	3	0,0745
	4	0,0772
III	5	0,1067
	6	0,1130

Os cálculos para a taxa de penetração, Tabela 5, resultaram em uma maior taxa de penetração em soluções ácidas sendo que a de maior concentração, 3 M, se obteve maior penetração. O que confirma este grupo como o que sofreu maior influência corrosiva no experimento. Os resultados do Grupo 1 mostraram uma taxa quase nula para a penetração da corrosão em água.

Tabela 5: Resultado do cálculo da taxa de penetração

Grupo	Amostra	Taxa de Penetração (mpy)
I	1	0,0066
	2	0,0027
II	3	0,0310
	4	0,0330
III	5	0,0460
	6	0,0400

O ensaio por tração foi realizado após todo o processo corrosivo com amostras dos três grupos. Os resultados dos ensaios foram comparados com os dados do aço SAE 1080 sem corrosão. De acordo com o Guia do Aço ArcelorMittal [9], para o SAE 1080 o valor de Limite de Resistência é 1134 MPa. O objetivo é realizar uma comparação entre os limites de resistência e concluir se houve modificações nas propriedades físicas do material. Os resultados dos Limites de Resistência (LR) são apresentadas na Tabela 6 e os diagramas tensão-deformação plotados pela máquina de tração são mostrados nas Figuras 4, 5a e 5c. A unidade de tensão nos gráficos da figura 4, 5a e 5c está expressa em N/mm<sup>2</sup> mas como se sabe que 1 N/mm<sup>2</sup> é igual a 1 MPa, portanto, todos os valores de LR serão descritos nesse trabalho adotando a unidade em MPa.

A amostra que ficou imersa em água, apresentou LR de 1085,54 MPa, contudo, a redução de apenas 48,46 MPa não é expressiva. A amostra do Grupo 2, que ficou imersa em ácido sulfúrico 1,5 M apresentou LR de 1005,04 MPa, o que representa uma diminuição de 128,96 MPa. E a amostra do Grupo 3 que ficou imersa em ácido sulfúrico 3 M apresentou LR de 931,25 MPa, ou seja, uma diminuição de 202,75 MPa. A diminuição em MPa da amostra imersa na concentração 3 M é quase o dobro da amostra imersa na concentração 1,5 M. A corrosão também influenciou na ductilidade deste aço, no qual a amostra do grupo 3 apresentou a menor ductilidade e se rompeu primeiro. Através da análise dos resultados é identificado que as amostras que sofreram corrosão em meio ácido apresentaram menor resistência à deformação, sendo que a amostra em ácido concentração 3 M, apresentou a menor

ductilidade e menor limite de resistência. Portanto foi a que teve mais alteração nas propriedades mecânicas, evidenciando que o processo corrosivo gerou falhas em sua estrutura. Após o ensaio de tração, os corpos de prova foram observados macroscopicamente. Notou-se que as fraturas de todas as amostras ocorreram na região de maior incidência do processo corrosivo. Este fato é devido a fragilização do aço através de defeitos que são formados em sua matriz [6], atuando como concentradores de tensão nestas regiões quando solicitadas mecanicamente.

Tabela 6: Resultado das máximas tensões suportadas pelas amostras

Grupo	Amostra	Limite de Resistência (MPa)
-	Sem corrosão	1134
I	1	1085,54
II	3	1005,04
III	5	931,25

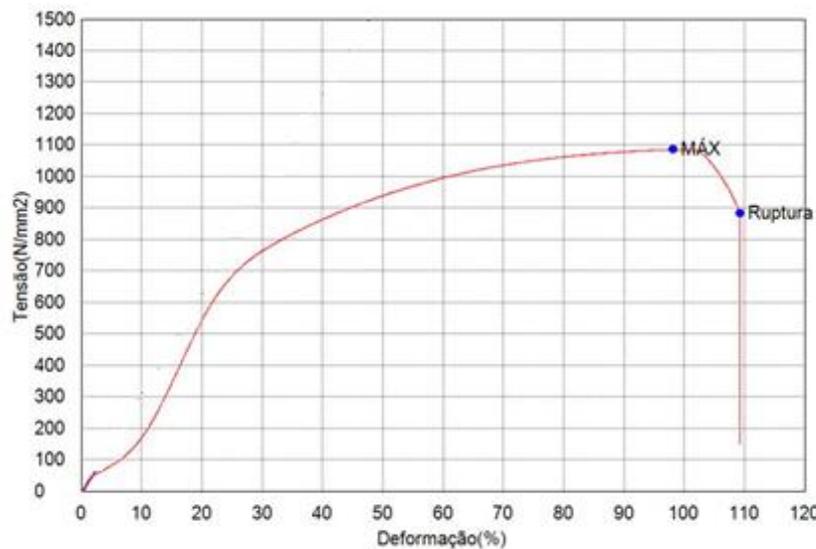


Figura 4: Gráfico tensão-deformação de uma amostra imersa em água

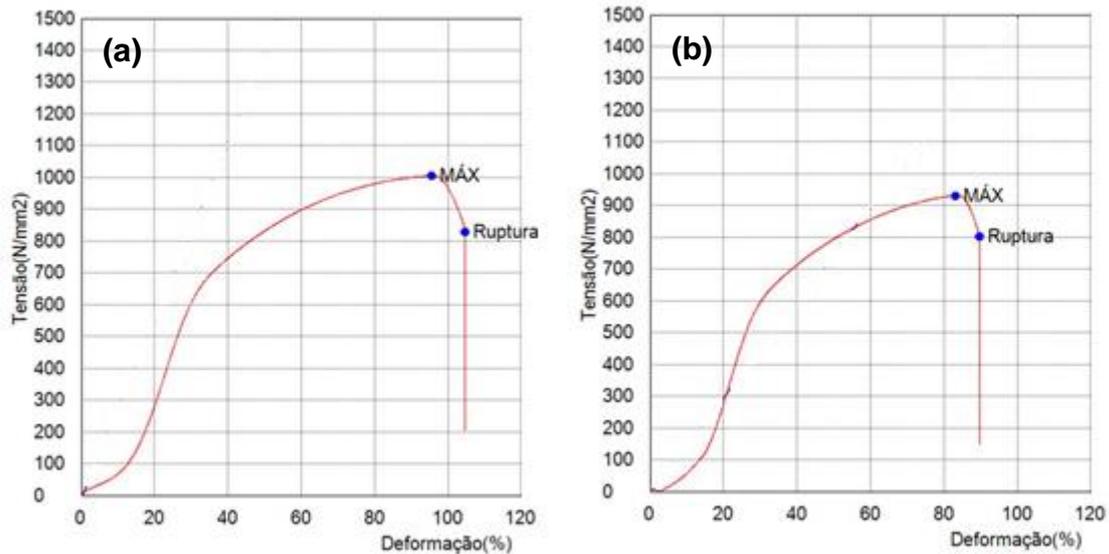


Figura 5: (a) Gráfico tensão-deformação de uma amostra corroída em solução de  $H_2SO_4$  1,5M e em (b) Gráfico tensão-deformação de uma amostra corroída em solução de  $H_2SO_4$  3M

### 3 CONCLUSÃO

O comportamento da corrosão do aço SAE 1080 em água e em soluções de ácido sulfúrico com concentrações de 1,5 M e 3 M foram investigadas após um período de 50 dias por taxa de corrosão, taxa de penetração e resistência mecânica. Os seguintes resultados foram obtidos:

1. Os resultados do cálculo da taxa de corrosão em todas as condições de amostras mostraram que o aço em estudo é resistente aos ambientes corrosivos em que as amostras foram expostas, pois sua taxa de corrosão ficou muito abaixo de 5 mpy.
2. Há um aumento da taxa de corrosão com o aumento da concentração de ácido sulfúrico.
3. A maior perda de massa foi na amostra imersa em ácido sulfúrico com concentração 3 M, obtendo se uma perda de 1,86 gramas.
4. Os cálculos para a taxa de penetração indicaram uma maior penetração da corrosão nas amostras em soluções de ácido sulfúrico com concentração 3 M.
5. Através das análises dos resultados de tração é identificado que as amostras que sofreram corrosão em meio ácido apresentaram uma diminuição nas suas propriedades mecânicas. A amostra em  $H_2SO_4$  3M, apresentou a menor ductilidade e menor limite de resistência entre as amostras estudadas, apresentando uma diminuição de 202 MPa no limite de resistência.
6. As amostras imersas em água não apresentaram corrosão significativa.

### REFERÊNCIAS

- 1 Ferraz, Henrique. O aço na construção civil. Revista eletrônica de ciências. São Paulo, n. 22, 2003.
- 2 Telles, P.C.S. Tubulações industriais: materiais, projeto e montagem. 9. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2000.
- 3 Chiaverini, Vicente. Tecnologia Mecânica: Estrutura e Propriedades das Ligas. Vol. 1, 2ª Edição, Editora McGraw-Hill, São Paulo, 1986.
- 4 Gentil, Vicente. Corrosão. 6ª. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011.

- 5 Brondel, D.; Edwards, R.; Hayman, A.; Hill, D.; Mehta, S.; Semerad, T. Corrosion in the Oil Industry. Schlumberger, 2007.
- 6 Fernandes, Loyslene Rabelo; Sousa, Gustavo Henrique. AVALIAÇÃO DA CORROSÃO NO AÇO 10B22 PARA FIXADORES, p. 1573-1583. In: 73º Congresso Anual da ABM, São Paulo, 2018. ISSN: 2594-5327, DOI 10.5151/1516-392X-31709.
- 7 Silva, Priscila Caroline Albuquerque da; Guedes, Fabrícia Nunes de Jesus; Assis, Jéssica Ferreira de; Costa, Isadora de Mello Etrusco Lima da; Araújo, Athos Fernandes de. Estudo COMPARATIVO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS AÇOS SAE 10B22 E 1005 APÓS CORROSÃO EM SOLUÇÕES ELETROLÍTICAS, p. 1067-1076. In: 72nd ABM Annual Congress, São Paulo, 2017. ISSN: 2594-5327, DOI 10.5151/1516-392X-30402
- 8 Owate Osarolube, E., and Oforka, I. O.” Corrosion behavior of mild and high carbon steels in various acidic media “,Scientific Research and Essay Vol.3 (6), pp. 224-228, June 2008.
- 9 Arcelormittal Aços Longos. Guia do Aço. Disponível em: <<http://brasil.arcelormittal.com.br/pdf/quem-somos/guia-aco.pdf>>. Acesso em: 21 de maio de 2019.