

Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba

**ESTUDO DE CORROSÃO DO AÇO INOX AISI
304 SOLDADO PELO PROCESSO SMAW EM
PETRÓLEO E DIESEL**

**Ramon Lucas Freitas Leite
Raul Tomas da Silva**

**Pindamonhangaba – SP
2015**

Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba

**ESTUDO DE CORROSÃO DO AÇO INOX AISI
304 SOLDADO PELO PROCESSO SMAW EM
PETRÓLEO E DIESEL**

**Ramon Lucas Freitas Leite
Raul Tomas da Silva**

Monografia apresentada à Faculdade
Tecnologia de Pindamonhangaba para
graduação, no curso superior de
Tecnologia em Mecânica: Processos
de soldagem.

Área de Concentração: Ensaio de materiais
Orientador: Prof. Msc. Marcelo Bergamini

**Pindamonhangaba - SP
2015**

L533e Leite, Ramon Lucas Freitas.
Estudo de corrosão do aço inox AISI 304 soldado pelo processo SMAW em petróleo e diesel / Ramon Lucas Freitas Leite; Raul Tomas da Silva / FATEC Pindamonhangaba, 2015.
43f.: il. 30 cm.

Orientador: Msc. Engenheiro Marcelo Bergamini
Monografia (Graduação) – FATEC – Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba. 2015

1. Corrosão. 2. Aço inoxidável. 3. Soldagem SMAW. 4. Petróleo.
5. Diesel. I. Leite, Ramon Lucas Freitas. II. Silva, Raul Tomas da. III. Bergamini, Marcelo. IV. Título.

CDD 620

FACULDADE DE TECNOLOGIA DE PINDAMONHANGABA**TÍTULO DO TRABALHO**

**“ESTUDO DE CORROSÃO DO AÇO INOX AISI 304
SOLDADO PELO PROCESSO SMAW EM PETRÓLEO E
DIESEL”.**

RAMON LUCAS FREITAS LEITE

RAUL TOMAS DA SILVA

Monografia apresentada à Faculdade de
Tecnologia de Pindamonhangaba, para
graduação no Curso Superior de Tecnologia
em Mecânica: Processos de Soldagem.

Comissão Examinadora

Marcelo B. de Carvalho

Orientador – Prof. MSC. Marcelo Bergamini de Carvalho

E. Augusto

Membro Interno – Prof. Dr. Emerson Augusto Raymundo

Michel M. Skupien

Membro Externo – Tecnólogo Michel Maciel Skupien

Pindamonhangaba, 17, de Julho, 2015.

DEDICATÓRIA

Ao meu filho, pois foi a maior inspiração para chegar até aqui. À minha família pelo grande incentivo, compreensão e apoio, sem os quais nada disso seria possível!

Ramon L. F. Leite

Aos meus amigos e colegas que estiveram presente durante todos esses anos de empreitada. Aos meus pais pelo apoio e alicerce. À minha filha, por ser responsável pela motivação diária. E a todos os professores que passaram por essa jornada.

Raul T. da Silva

AGRADECIMENTO

Primeiramente a minha família por todo o incentivo, apoio e compreensão nos momentos de dificuldade durante todos esses anos, sempre me dando forças e todo o apoio necessário para que este sonho seja uma realidade, em especial minha Mãe Maria Leticia, minha avó Maria da Penha e ao meu filho que é o meu maior motivo de persistir nesta caminhada. Obrigado por tudo.

Ao professor Msc. Marcelo Bergamini, pelo inestimável apoio na orientação deste trabalho, atuando com seu valioso conhecimento nos dando o suporte necessário para a realização do mesmo, e também pela grande e forte amizade adquirida ao longo desses anos.

Aos nossos colegas e amigos da Faculdade com quem caminhamos durante esses anos por nos fortalecerem e com quem compartilhamos grandes momentos.

Aos auxiliares docentes Odilon e Flávio que contribuíram com seus conhecimentos nos auxiliando na execução prática nos testes de laboratório.

A todos que de alguma forma contribuíram para nosso aprendizado e a realização deste trabalho. A todos que acreditaram em nossa capacidade e nos apoiaram.

Ramon L. F. Leite

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus, por ter me dado saúde e sabedoria durante toda a jornada.

Aos meus pais, que sempre estiveram como alicerce em minha vida, me orientando em momentos de vitórias e nas derrotas, auxiliando para meu desenvolvimento. Gostaria de deixar evidenciado aqui também, minha imensa gratidão a esta instituição e seu corpo docente, que foram primordiais em meu desenvolvimento profissional. Ao orientador Msc Marcelo Bergamini, pelo auxílio nesse trabalho e pela amizade desenvolvida nesses anos de convivência.

Raul T. da Silva

*“Acredite em si próprio e chegará um dia em que os outros
não terão outra escolha senão acreditar com você.”*

Cynthia Kersey

LEITE, R. L. F.; SILVA, R.T. Estudo de Corrosão do Aço Inox AISI 304 Soldado Pelo Processo SMAW em Petróleo e Diesel

. 2015. 43 pg. Trabalho de Graduação (Curso de Mecânica: Processos de Soldagem). Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba. Pindamonhangaba. 2015.

RESUMO

O AISI 304 se trata de um aço inoxidável austenítico amplamente empregado em indústrias petroquímicas, nucleares, civil, alimentícia e farmacêutica devido ser um material inerte, com elevada resistência a corrosão, elevada resistência a altas temperaturas, resistências a temperatura criogênica aparência higiênica e forte apelo visual. Por este motivo o aço foi escolhido para este estudo, o mesmo foi soldado pelo processo de soldagem por eletrodo revestido com metal de adição E-308L-16 e foi estudado os efeitos da corrosão nos corpos de prova soldados comparando com os corpos de prova de metal base apenas. O ensaio de corrosão foi feito por imersão antes e pós-soldagem. A imersão foi realizada nas soluções de petróleo e diesel. Assim foi definido em qual condição o aço apresenta um melhor desempenho após os ensaios.

Palavras-chave: corrosão. Aço inoxidável. Soldagem SMAW. Petróleo.Diesel.

LEITE, R. L. F.; SILVA, R.T. STEEL CORROSION STUDY INOX AISI 304 GI THE PROCESS

SMAW IN OIL AND DIESEL. 2015. 45 PAG. *Graduation Project (Mechanical: Welding Processes curse)*. Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba. Pindamonhangaba. 2015.

ABSTRACT

In Callister (2008) AISI 304 steel it is an austenitic stainless steel widely used in petrochemical, nuclear, civil, food and pharmaceutical due be an inert material with high corrosion resistance, high strength at high temperature, resistance to temperature cryogenic hygienic and strong visual appearance. For this reason the steel was chosen for this study, it will be welded by process welding electrode coated with E-308L-16 filler metal and will be studying the effects of corrosion in the welded specimens compared to the metal specimens basis only. The corrosion testing will be done by immersion before and after welding. Immersion will be made in oil solutions and diesel. Thus expected to define in what condition the steel performs better after the tests.

Keywords: Corrosion. Stainless steel. Welding. SMAW. Oil. Diesel.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Passividade dos aços-cromo expostos por 10 anos a atmosfera industrial	22
Figura 2. Esquema do processo de soldagem por eletrodo revestido Erro! Indicador não definido.	
Figura 3. Ferramentas e equipamentos para este tipo de soldagem.....	27
Figura 7. Máquina de soldagem utilizada no estudo	33
Figura 8. Máquina de soldagem utilizada no estudo	33
Figura 9. Metal base na posição em que foi realizada a soldagem	34
Figura 10. Corpo de prova soldado.....	34
Figura 11. Corpos de prova soldados e sem solda	35
Figura 12. Limpeza das amostras por ultrassom.....	35
Figura 13. Cuba ultrassônica para limpeza das amostras	36
Figura 14. Beckers com amostras imersas em querosene após a limpeza	36
Figura 15. Amostras imersas em petróleo e diesel	37
Figura 16. Amostras imersas em Diesel.....	37
Figura 17. Amostras imersas em petróleo.....	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Composições Químicas e Exemplos de Alguns Aços Inoxidáveis mais Comuns .	19
Tabela 2. Principais elementos de liga (em % em peso) do aço inoxidável austeníticos 304 da norma AISI.....	22
Tabela 3. Classificação da Corrosividade segundo a norma NACE-RP-07-75.....	25
Tabela 4. Especificação AWS para a classificação de eletrodos revestidos para aço inoxidável.....	28
Tabela 5. Seleção de metal de adição para soldagem de aço inoxidável.....	29
Tabela 7. Composição química do eletrodo 4306 LCW (E308L-17) KESTRA.....	31
Tabela 8. Parâmetros estabelecidos pelo fabricante para soldagem	32
Tabela 9. Medida de massa das amostras de Metal base	39
Tabela 10. Medida de massa das amostras soldadas.....	39
Tabela 11. Taxa de corrosão classificação do metal Base.....	40
Tabela 12. Taxa de corrosão classificação das amostras soldadas	40

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1. O cálculo da taxa de corrosão em mm/ano.	24
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AISI – *American Iron and Steel Institute*
SMAW – *shielded metal arc welding*
CC - corrente contínua
CA - corrente alternada
CC+ - corrente contínua polaridade positiva
DIN – *Deutsches Institut für Normung*
Mn - manganês
Cr - cromo
C - carbono
Ni - níquel
Mo – molibdênio
P – fósforo
S – enxofre
N – nitrogênio
Cu – cobre
AWS – *American Welding Society*
CFC – cúbica de face centrada
AFNOR – *Association française de normalisation*
ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
ISO – *International Organization for Standardization*
E – eletrodo
ER – eletrodo revestido
CFC – cúbica de face centrada

SUMÁRIO

LISTA DE EQUAÇÕES.....	14
1. INTRODUÇÃO.....	17
1.1 Objetivos	18
1.2 Justificativa	18
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	19
2.1 Aço	19
2.1.1 Aços Inoxidáveis	19
2.1.2 Aços Inoxidáveis Austeníticos	20
2.1.2.1 Aços inoxidáveis austeníticos Cromo-Níquel.....	21
2.1.3 Aço Inoxidável 304.....	22
2.2 Corrosão	23
2.2.1 Ensaio de corrosão	23
2.2.2 Ensaio de laboratório	23
2.2.2.1 Taxa de Corrosão	24
2.3 Soldagem.....	25
2.3.1 Soldagem de aços inoxidáveis	25
2.3.2 Soldagem com Eletrodos Revestidos	25
2.3.3 Equipamentos para soldagem com eletrodo revestido	27
2.3.4 Consumíveis.....	27
2.3.4.1 Especificação AWS para classificação de eletrodos revestidos	28
2.3.5 Soldabilidade do aço inox e seleção de metais de adição.....	29
2.5 Petróleo	30
3 MATERIAIS E MÉTODOS	31
3.1 Caracterização do Metal de Adição (Eletrodo Revestido).....	31
3.2 Soldagem do Aço por SMAW	32
3.3 Corpo de Prova Pós-soldagem.....	34
3.4 Limpeza dos corpos de prova para imersão.....	35
3.5 Ensaio de corrosão por imersão	36
4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	39
4.1 Ensaio de corrosão por imersão.....	39
5 CONCLUSÃO.....	41

1. INTRODUÇÃO

Segundo informações do governo, o Brasil possui a matriz energética mais renovável do mundo industrializado, porém, a dependência do petróleo e seus derivados ainda ocupam porcentagem de destaque nessa matriz.

O petróleo é um óleo escuro encontrado nas profundezas da crosta terrestre, que, segundo a teoria de sua origem, teria se formado pelo soterramento de grandes quantidades de animais e vegetais: acredita-se que durante certo período da Terra os movimentos da crosta terrestre teriam exercido pressões elevadas, o que, associado ao calor, teria provocado reações químicas e transformando animais e vegetais que foram soterrados (BIANCHI,2005).

Nas próximas décadas ainda teremos o contato com esse tipo de combustível e seus derivados, reforçando a necessidade de estudos sobre esses meios.

Aços inoxidáveis são ligas ferrosas de excelente resistência à corrosão em diversos ambientes. São basicamente ligas Fe-Cr ou Fe-Cr-Ni, podendo conter, ainda, elementos como C, N, Mo, Mn, Nb, Ti, etc, seja como elementos de liga seja como residuais (MODENESI, 2011).

Segundo COLPAERT (2008) estes aços são importantes na engenharia, devido a suas características como resistência a oxidação e a à corrosão, propriedades mecânicas a temperaturas elevadas e tenacidade. Os aços inoxidáveis podem ser classificados em Martensíticos, Ferríticos, Austeníticos, Duplex e endurecidos por precipitação.

Os aços inoxidáveis austeníticos são os mais comuns entre os aços inoxidáveis e são caracterizados por resistência a corrosão muito boa, elevada tenacidade e boa soldabilidade, em SILVA& MEI (2010).

A soldagem é o mais importante processo de união de metais utilizados industrialmente. (MODENESI, 2009)

Em BRANDI (1992), a soldagem com eletrodos revestidos é definida como um processo de soldagem com arco, onde a união é produzida pelo calor do arco criado entre um eletrodo revestido e a peça a soldar.

As aplicações industriais do processo com eletrodo revestido são muitas, inclusive na manutenção e em operações de emergência, dada sua grande versatilidade e simplicidade.

1.1 Objetivos

Este trabalho tem como objetivo estudar a corrosão no aço inoxidável austenítico AISI 304 soldada pelo processo SMAW em contato com o petróleo e diesel e comparar os efeitos da corrosão antes e pós-soldagem do aço.

1.2 Justificativa

A corrosão associada ao uso de combustíveis é um tema de extrema relevância, principalmente quando se consideramos dados relacionados ao uso de combustíveis e os prejuízos causados por processos corrosivos (AMBROZIN; KURI, 2009).

A escolha do AISI 304 e do processo SMAW se baseou no fato de que estes tipos de aço serem muito utilizados em válvulas e peças de tubulações, trocadores de calor, equipamentos para indústrias químicas, petroquímicas, alimentícia e de celulose, armações metálicas, peças para construção mecânica, parafusos, rebites, tirantes, fio para molas etc.(COSTA & MEI, 2010).

Em virtude da durabilidade e melhor resistência à corrosão em ambientes agressivos, já o processo de soldagem, devido a sua versatilidade em campo, incluindo serviços de montagem e reparos. (CALLISTER, 2008).

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Aço

Segundo CHIAVERINI (2008), o aço é a liga ferro-carbono contendo geralmente 0,008% até aproximadamente 2,11% de carbono, além de certos elementos residuais, que são resultados do processo de fabricação.

2.1.1 Aços Inoxidáveis

Segundo SILVA E MEI (2010), a adição de cromo aumenta a resistência à oxidação e à corrosão do aço. Aços com teores de cromo superiores a 12% têm grande resistência à oxidação e são comumente designados como aços inoxidáveis. Esses aços são de grande interesse para a engenharia, em função de sua resistência à oxidação e à corrosão, propriedades mecânicas a temperaturas elevadas e tenacidade (dos inoxidáveis austeníticos).

Em CHIAVERINI (2008), vemos que a classificação mais simples e mais usada dos aços inoxidáveis é baseada na microestrutura que apresentam à temperatura ambiente. Nestas condições são consideradas os 3 grupos seguintes:

- I – Aços inoxidáveis Martensíticos – ou endurecíveis.
- II – Aços Inoxidáveis Ferríticos – não endurecíveis
- III – Aços Inoxidáveis Austeníticos – também não endurecíveis

Os grupos I e II são essencialmente ligas de ferro e cromo; o grupo III compreende as ligas de ferro-cromo níquel, assim como vemos na tabela a seguir. CHIAVERINI (2008).

Tabela 1. Composições Químicas e Exemplos de Alguns Aços Inoxidáveis mais Comuns

	Composição química diretriz					Aplicações específicas
	% C	% Cr	% Ni	% Mo	Outros	
AISI 303	0,15 máx.	18,0	9,0	0,60 máx.	S = 0,15 máx.	Peças torneadas para indústrias alimentícia e leiteira. Peças produzidas em tornos automáticos: parafusos, pinos, porcas etc. Peças para indústrias automobilística e aeronáutica.
AISI 304	0,08 máx.	19,0	10,0	-	-	Válvulas e peças de tubulações; equipamentos hospitalares, trocadores de calor, equipamentos para indústrias químicas, petroquímicas, farmacêuticas, alimentícias e de celulose. Armações

						metálicas, peças para construção mecânica, parafusos, rebites, tirantes, fio para molas etc.
AISI 304L	0,03 máx.	19,0	10,0	-	-	Mesmas aplicações do AISI 304, para partes soldadas que não podem ser solubilizadas posteriormente. É também aplicado nas indústrias aeronáutica e elétrica.
AISI 316	0,08 máx.	17,0	12,0	2,50	-	Mesmas aplicações do AISI 304, além de peças para construção naval. Possui melhor resistência à corrosão que o AISI 304, e além de propriedades mecânicas superiores. É amplamente empregado na indústria de papel.
AISI 3016L	0,03 máx.	17,0	12,0	2,50	-	Mesmas aplicações do AISI 3016, para partes soldadas.

Fonte: SILVA & MEI (2010)

2.1.2 Aços Inoxidáveis Austeníticos

São ligas à base de ferro, cromo (16-30%) e níquel (8-35%) predominante austeníticas após tratamento térmico comercial. Não são magnéticos. Incluem-se nesta família: (AISI) 301, 302, 304, 304L entre outros. O teor de carbono é, em geral, inferior a 0,08%. (SILVA e MEI, 2010)

Os aços inoxidáveis austeníticos são os mais comuns entre os aços inoxidáveis e são caracterizados por resistência à corrosão muito boa, elevada tenacidade e boa soldabilidade. A estrutura austenítica (CFC) é estabilizada à temperatura ambiente pela adição de níquel e outros estabilizadores dessa estrutura, como manganês, por exemplo. A estrutura austenítica o torna especialmente interessante, tanto para aplicações criogênicas (por não sofrerem transição dúctil-frágil) como para aplicações à temperatura elevada, em função da resistência ao amolecimento e resistência à deformação a quente. (SILVA & MEI, 2010)

Em CHIAVERINI (2008) vemos que, esses aços podem ser divididos em dois grupos:

- aços ao cromo-níquel
- aços ao cromo-manganês níquel

A maior parte dos aços austeníticos comumente empregados pertence ao primeiro grupo. Os mais conhecidos e populares são os 18-8 em que o teor médio de cromo é 18% e o de níquel 8%. A introdução do níquel melhora consideravelmente a resistência à corrosão e a resistência à oxidação a altas temperaturas, visto que, na maioria dos reagentes, o níquel é mais nobre que o ferro e, além disso, forma uma camada de óxido que protege o aço espontaneamente. (CHIAVERINI, 2008)

Características principais dos aços inoxidáveis austeníticos são:

- não magnéticos

- não endurecíveis por serem austeníticos;

Quando encruados apresentam um fenômeno interessante: o aumento de dureza que se verifica é bem superior ao que se encontraria, mediante a mesma deformação, em outros aços. Esse aumento com dureza acima do normal, pode ser atribuído à instabilidade da austenita que, sob o efeito das tensões do encruamento, transforma-se parcialmente e paulatinamente em ferrita. Essa ferrita supersaturada de carbono, nas mesmas condições que uma martensita, contribui para o endurecimento excepcional do aço. O estiramento a frio, por exemplo, do aço 18-8 pode produzir resistência à tração da ordem de 250 kgf/mm² (2450 MPa) com uma porcentagem de deformação que num aço comum não produziria mais do que cerca de 140 kgf/mm² (1370 MPa).

2.1.2.1 Aços inoxidáveis austeníticos Cromo-Níquel

Os aços inoxidáveis cromo-níquel são austeníticos mesmo à temperatura ambiente. Entre estes se encontra o aço inoxidável mais conhecido: o chamado aço 18-8, que significa 18% de cromo e 8% de níquel. Pode-se reconhecê-lo por sua superfície brilhante e pelo fato de não ser magnético. (QUITES, 2008)

Contribuições do cromo - O cromo é de fato, o elemento mais importante e quando usado em altos teores (acima de 10%) é o mais eficiente de todos, na maioria das condições, embora os aços cromo e ao cromo-níquel não sejam tão resistentes em certos meios, como ácido clorídrico.

O papel do cromo está ilustrado na figura do gráfico a seguir, onde se observa que, numa atmosfera industrial, o aço, à medida que o teor do cromo aumenta, passa de um metal de grande corrosibilidade a um metal praticamente indestrutível pela corrosão segundo CHIAVERINI (2008).

Figura 1. Passividade dos aços-cromo expostos por 10 anos a atmosfera industrial

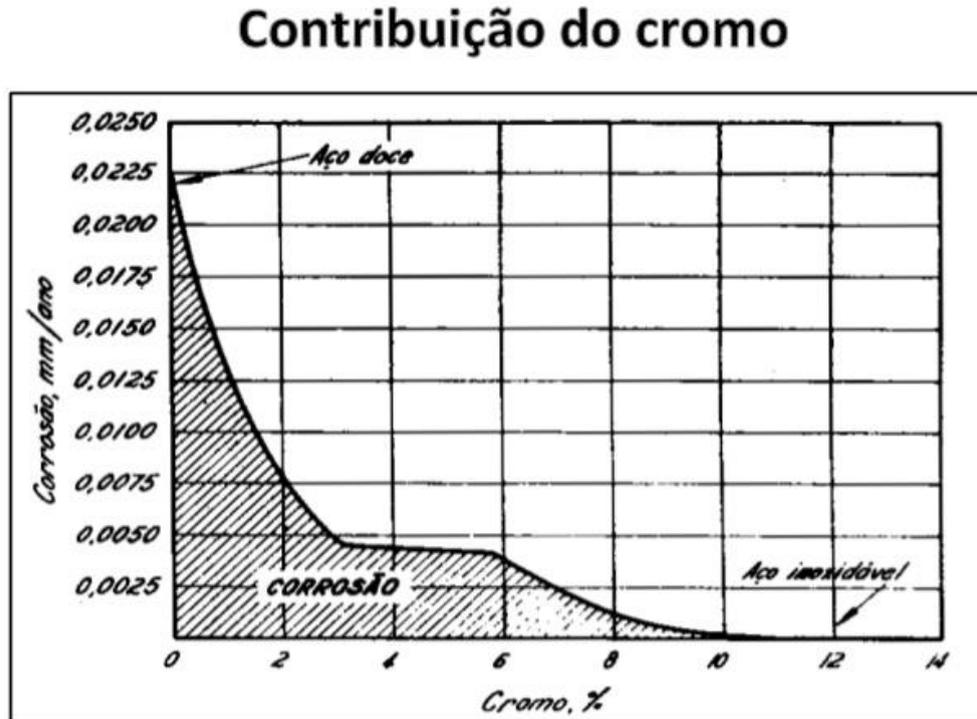


Figura 3 – Gráfico ilustrando a passividade dos aços-cromo expostos durante 10 anos a uma atmosfera industrial

CHIAVERINI (2008)

2.1.3 Aço Inoxidável 304

CHIAVERINI (2008) mostra alguns dados quanto as características gerais e empregos típicos dos aços inoxidáveis austeníticos:

Tipo 304 - Menos suscetível a corrosão Inter cristalina, pelo teor mais baixo de carbono; equipamentos para processamento de alimentos, recipientes criogênicos.

A tabela dos principais elementos de liga do aço inoxidável austeníticos 304 da norma AISI a seguir mostra em % em peso de cada elemento. GUEDES (1994).

Tabela 2. Principais elementos de liga (em % em peso) do aço inoxidável austeníticos 304 da norma AISI.

Designação	C (máx.)	Mn (máx.)	Si (máx.)	Cr	Ni	Outros elementos
304	0,08%	2,0%	1,0%	18,0- 20,0%	8,0-10,5%	—

Fonte: GUEDES (1994)

2.2 Corrosão

A corrosão pode ser definida como a deterioração de um material, geralmente metálico, por ação química ou eletroquímica do meio ambiente, associada ou não a esforços mecânicos. A deterioração causada pela interação físico-química entre o material e o seu meio operacional representa operações prejudiciais indesejáveis, sofridas pelo material, tais como desgaste, variações químicas ou modificações estruturais, tornando-o inadequado para uso. GENTIL (2011)

Segundo RAMANATHAN (2006), o termo “corrosão” pode ser definido como a reação do metal com o elemento do seu meio, na qual o metal é convertido a um estado não metálico. Quando isto ocorre, o metal perde suas qualidades essenciais, tais como resistência mecânica, elasticidade, ductilidade e o produto de corrosão formado é extremamente pobre em termos destas propriedades.

2.2.1 Ensaios de corrosão

Para caracterizar a agressividade de um determinado meio corrosivo e fornecer fundamentos básicos para o controle da corrosão, realizam-se os chamados ensaios de corrosão. GENTIL (2011)

2.2.2 Ensaios de laboratório

De acordo com GENTIL (2011), os ensaios de corrosão podem ser feitos no laboratório ou no campo, dependendo dos objetivos que se quer alcançar. Nos ensaios de laboratório usam-se pequenos corpos de prova bem definidos, a composição do meio corrosivo é fixada com exatidão, podendo-se manter constantes as condições do ensaio e acelerar o processo, para conseguir resultados mais rápidos.

Os ensaios de laboratório são úteis para:

- Estudar o mecanismo do processo corrosivo;
- Indicar o material metálico mais adequado para determinado meio corrosivo;
- Determinar os efeitos que os materiais metálicos podem ocasionar nas características de um determinado meio corrosivo, como, por exemplo, contaminação por produtos de corrosão em processamento, transporte e armazenamento;
- Ensaio de controle para se fabricar um material metálico resistente à corrosão em determinados meios corrosivos;
- Determinar o efeito do processo de fabricação, das impurezas ou elementos de liga,

do tratamento térmico e mecânico e do estado da superfície sobre o comportamento do material metálico em determinado meio corrosivo.

Os ensaios de laboratório são realizados sob condições variadas visando reproduzir as de utilização dos materiais. Entre eles citam-se:

- Imersão contínua;
- Imersão alternada;
- Imersão contínua, com agitação;
- Ensaio com fluxo contínuo

Em ensaios de imersão total, as amostras são completamente imersas no líquido, geralmente sob condições controladas de aeração, velocidade, e temperatura. RAMANATHAN (2006)

2.2.2.1 Taxa de Corrosão

Após a realização do ensaio de corrosão e limpeza do corpo de prova, verifica-se a perda de peso, durante o ensaio de corrosão, subtraindo-se do seu peso original o peso após o ensaio. Como a perda de peso é influenciada pela área exposta e tempo de exposição, essas variáveis são combinadas e expressas em taxa de corrosão. GENTIL (2011)

Equação 1. O cálculo da taxa de corrosão em mm/ano.

$$T = \frac{\text{perda de peso(g)} \times 365 \times 1.000}{S.t.d.}$$

Fonte: GENTIL (2011)

T: taxa de corrosão (mm/ano)

S: área exposta da superfície do cupom (mm)

t: tempo

d: densidade (g/cm³)

A Norma NACE-RP-07-75 estabelece a classificação da corrosividade:

Tabela 3. Classificação da Corrosividade segundo a norma NACE-RP-07-75

Taxa de corrosão uniforme (mm/ano)	Taxa de pite (mm/ano)	Corrosividade
<0,025	<0,13	Baixa
0,025 a 0,12	0,13 a 0,20	Moderada
0,13 a 0,25	0,21 a 0,38	Alta
>0,25	>0,38	Severa

FONTE: GENTIL (2011)

2.3 Soldagem

Um grande número de diferentes processos utilizados na fabricação e recuperação de peças, equipamentos e estruturas é abrangido pelo termo “SOLDAGEM”. Classicamente a soldagem é considerada como um processo de união, porém, na atualidade, muitos processos de soldagem ou variação destes são usados para a deposição de um material sobre uma superfície, visando à recuperação de peças desgastadas ou para a formação de um revestimento com características especiais. Diferentes processos relacionados com a soldagem são usados para cortes de peças metálicas e em muitos aspectos essas operações se assemelham a operação de soldagem. (MODENESI, 2009)

2.3.1 Soldagem de aços inoxidáveis

Aços austeníticos (não magnéticos). Pertencem aqui os aços 201, 202, 301, 302, 302B, 303 Se, 304, 304L e outros.

Estes aços não necessitam pré-aquecimento ou recozimento, devendo inclusive ser evitado o calor excessivo na peça para diminuir a distorção e a precipitação de carbonetos. Quando não for possível o uso de eletrodo de material de série igual (sendo recomendável o uso do material de baixo carbono da sigla adicional “LC”). (DRAPISNSKI, 1969)

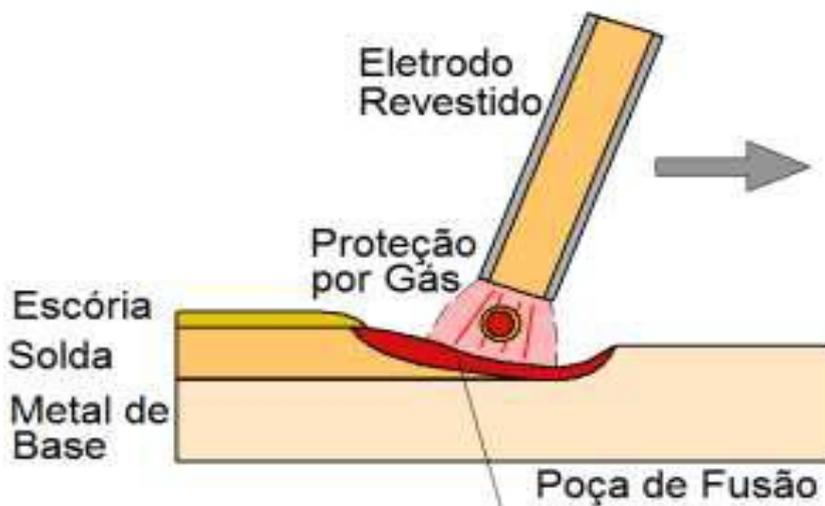
2.3.2 Soldagem com Eletrodos Revestidos

A soldagem a arco com eletrodos revestidos (*Shielded Metal Arc Welding* - SMAW)

é um processo que produz a coalescência entre metais pelo aquecimento destes com um arco elétrico estabelecido entre um eletrodo metálico revestido e a peça que está sendo soldada. (MODENESI, 2009).

O processo é mostrado esquematicamente na figura a seguir:

Figura 2. Esquema do processo de soldagem por eletrodo revestido



Fonte: MODENESI (2008).

O eletrodo revestido consiste de uma vareta metálica, chamada "alma", trefilada ou fundida, que conduz a corrente elétrica e fornece metal de adição para enchimento da junta. A alma é recoberta por uma mistura de diferentes materiais, numa camada que forma o "revestimento" do eletrodo. Este revestimento tem diversas funções na soldagem, principalmente:

- Estabilizar o arco elétrico;
- Ajustar a composição química do cordão, pela adição de elementos de liga e eliminação de impurezas;
- Proteger a poça de fusão e o metal de solda contra contaminação pela atmosfera, através da geração de gases e de uma camada de escória;
- Conferir características operacionais, mecânicas e metalúrgicas ao eletrodo e a solda.

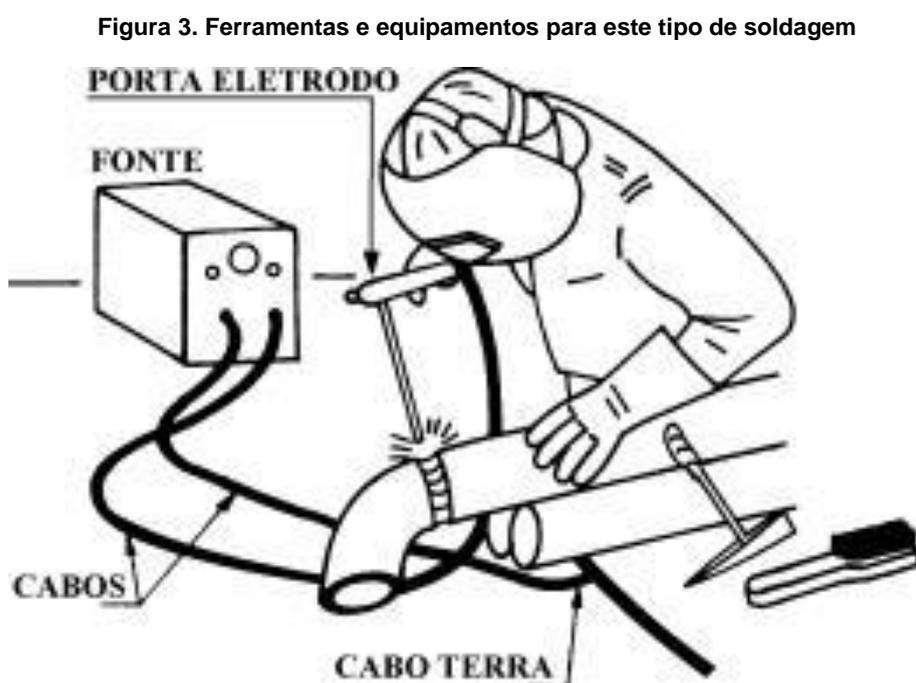
A possibilidade de inúmeras formulações para o revestimento explica a principal característica deste processo, que é sua grande versatilidade em termos de ligas soldáveis, características operacionais e características mecânicas e metalúrgicas do metal depositado. O custo relativamente baixo e a simplicidade do equipamento necessário,

comparados com outros processos, e a possibilidade de uso em locais de difícil acesso ou abertos, sujeitos à ação de ventos, são outras características importantes. (MODENESI, 2008)

A soldagem com eletrodos revestidos é usada na fabricação e montagem de diferentes equipamentos e estruturas, tanto em oficina como no campo, sendo particularmente interessante neste último caso. O processo é usado basicamente como uma operação manual, sendo muitas vezes chamado simplesmente de soldagem manual. Somente uma variação “mecanizada” do processo, a soldagem por gravidade, tem sido utilizada na indústria de forma mais intensa, principalmente em estaleiros. (MODENESI, 2008)

2.3.3 Equipamentos para soldagem com eletrodo revestido

Os equipamentos de um posto de soldagem manual com eletrodos revestidos compreendem, em geral, fonte de energia, cabos, porta-eletrodos, ferramentas (picadeira, escova de aço etc.) e materiais de segurança (máscara, óculos, avental etc.)



Fonte: MODENESI (2008)

2.3.4 Consumíveis

Em MODENESI, (2008) vemos que um eletrodo revestido é constituído por uma vareta

metálica, a alma, com diâmetro entre 1,5 e 1,8 mm e comprimento entre 23 e 45 cm, recoberta por uma camada de fluxo, o revestimento. Eletrodos para soldagem por gravidade têm comprimento entre 55 e 70 cm. A composição do revestimento determina as características operacionais dos eletrodos e pode influenciar a composição química e as propriedades mecânicas da solda efetuada. Além das funções já citadas, o revestimento serve ainda para:

- Realizar ou possibilitar reações de refino metalúrgico, tais como desoxidação, dessulfuração e etc;
- Formar uma camada de escória protetora;
- Facilitar a remoção de escória e controlar suas propriedades físicas e químicas;
- Facilitar a soldagem nas diversas posições;
- Dissolver óxidos e contaminações na superfície da junta;
- Reduzir o nível de respingos e fumos;
- Diminuir a velocidade de resfriamento da solda;
- Possibilitar o uso de diferentes tipos de corrente e polaridade; e
- Aumentar a taxa de deposição (quantidade do metal depositado por unidade de tempo), entre outras

Existe no mercado um grande número de tipos de eletrodos que apresentam diferentes características operacionais, aplicáveis a diferentes materiais e que produzem soldas com diferentes características. Para racionalizar o mercado, os eletrodos revestidos são classificados de acordo com o sistema proposto por diferentes sociedades (AWS, DIN, AFNOR, ABNT, ISO etc.) As classificações mais usadas são listadas pelo a AWS. (MODENESI, 2009).

2.3.4.1 Especificação AWS para classificação de eletrodos revestidos

Tabela 4. Especificação AWS para a classificação de eletrodos revestidos para aço inoxidável

Especificação	Tipo de eletrodo
AWS A 5.4	Eletrodos revestidos para soldagem a arco de aços inoxidáveis

Fonte: MODENESI (2009)

Os eletrodos de aço inoxidável e outras ligas ferrosas com elevado teor de cromo são agrupados na especificação AWS A 5.4. Por esta especificação, os eletrodos são divididos em cinco grupos, quanto às características do revestimento:

- E XXX-15 – eletrodos para operar com somente CC+, com revestimento básico e

utilizável em todas as posições;

- E XXX-16 – eletrodos para operar com CC+ e CA, com revestimento rutílico (potássio), usável em todas as posições;
- E XXX 17 – eletrodos para operar em CC+ e CA, com revestimento rutílico/sílica (potássio), apresentam melhores aspectos superficiais e características que os do tipo 16, utilizável em todas as posições;
- E XXX 25 – eletrodos sintéticos (alma de aço carbono) para operar somente em CC+, com revestimento básico semelhante ao tipo 15, contendo ferro-ligas e pós metálicos, recomendados para as posições plana e horizontal; e
- E XXX 26 – eletrodos sintéticos para operar em CC+ e CA, com revestimento rutílico semelhante aos do tipo 16, para serem usados nas posições plana e horizontal, onde XXX é a designação do tipo de metal depositado, segundo a AISI (*American Iron and Steel Institute*). A Tabela fornece um guia para a seleção de metal de adição para a soldagem dos aços inoxidáveis e destes com outros materiais. (MODENESI, 2009)

2.3.5 Soldabilidade do aço inox e seleção de metais de adição

Soldabilidade é a capacidade de um metal ou liga de se deixar soldar nas condições impostas pelo processo de fabricação, numa estrutura específica e adequada, e desempenhar-se satisfatoriamente no serviço para o qual se destina. (QUITES, 2008)

Para que o material de base tenha boa soldabilidade, deve apresentar um conjunto de propriedades favoráveis como, por exemplo, boa tenacidade, porque na soldagem sempre pode ocorrer concentração de tensões, na qual uma pode se iniciar se o aço não for suficientemente tenaz.

A tenacidade de um material é a propriedade que o permite suportar esforço considerável, aplicado lenta ou subitamente, de modo continuado ou intermitente e deformando-se antes de trincar ou romper. (QUITES, 2008)

Tabela 5. Seleção de metal de adição para soldagem de aço inoxidável

Metais Base (AISI)	301, 302, 304, 308
301	
302	E308
304	
308	

Fonte: MODENESI (2009)

2.5 Petróleo

Apalavra “petróleo” vem do latim *petra* (petro) e *oleum* (óleo). O petróleo é uma substancia oleosa, inflamável, menos densa que a água, com cheiro característico e de cor variando entre o negro e o castanho-claro. O petróleo é constituído, basicamente, por uma mistura de compostos químicos orgânicos (hidrocarbonetos). Embora objeto de muitas discussões no passado, hoje se tem como certa a sua origem orgânica, sendo uma combinação de moléculas de carbono e hidrogênio. (THOMAS, 2001)

Geralmente o Petróleo se encontra entre uma camada de água salgada e outra de gases, que o submetem a forte pressão. Quando o solo é perfurado e atinge-se o lençol de petróleo, este jorra para superfície por causa dessa forte pressão. Com a saída dos gases, a pressão diminui e, em consequência, cessa o jorro. Depois disso, o petróleo é retirado com auxílio de bombas. (SARDELLA, 2005)

2.6 DIESEL

A PETROBRÁS define o diesel como um combustível derivado do petróleo, constituído basicamente por hidrocarbonetos. É um produto inflamável, medianamente tóxico, volátil, límpido, isento de material em suspensão e com odor forte e característico. O óleo diesel é utilizado em motores de combustão interna e ignição por compressão (motores do ciclo diesel) empregados nas mais diversas aplicações, tais como: automóveis, furgões, ônibus, caminhões, pequenas embarcações marítimas, máquinas de grande porte, locomotivas, navios e aplicações estacionárias (geradores elétricos, por exemplo). (PETROBRÁS, 2015). Disponível em: <http://www.petrobras.com.br/pt/nossas-atividades/areas-de-atuacao/exploracao-e-producao-de-petroleo-e-gas/> acesso em: (05/07/2015).

. O diesel é o combustível mais usado no Brasil, provém da destilação do petróleo e contém de 12 a 22 átomos de carbono. (SOUZA, S.D.). Disponível em <<http://www.mundoeducacao.com/quimica/oleo-diesel.htm>> acesso em: (10/07/2015).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Os estudos e ensaios foram realizados em algumas etapas. Duas barras, dimensionadas com ¼” de espessura, 1” de largura e um metro de comprimento cada, do aço inoxidável AISI 304, foram utilizadas para a preparação dos corpos de prova. Primeiramente, foram obtidos, dois pedaços com 500 mm, um de cada barra citada para se efetuar a soldagem das amostras soldadas. Duas partes com 500 mm foram preparadas para serem soldadas através do processo SMAW (eletrodo revestido), utilizando como metal de adição o eletrodo 4306 LCW (E308L-17).

Após a soldagem, os corpos de prova foram efetivamente cortados em suas dimensões finais, utilizando serra de fita, tanto para as amostras soldada como para o metal base, obedecendo às seguintes medidas para uma aproximação de peso de todos os corpos de provas: Amostras sem solda com ¼” de espessura, 1” de largura e 2” de comprimento. Amostras soldadas com ¼” de espessura, 2” de largura e 1” de comprimento.

Então, as amostras foram limpas e imersas nas soluções (Diesel e Petróleo).

3.1 Caracterização do Metal de Adição (Eletrodo Revestido)

O E308L – 17 é indicado para soldagem de aços inoxidáveis austeníticos não estabilizados tipo Cr-Ni 18/8 com baixo teor de C (AISI 304), aços inoxidáveis de composição similar e ferríticos com 13% de Cr. Resistência a formação de carepa até 800°C e corrosão inter cristalina até 350°C. Para o depósito de solda não é requerido tratamento térmico e preaquecimento. Limitar a 200°C a temperatura entre passes. (Fonte: <http://www.kestra.com.br/PDF/consumiveissoldagem.pdf>, página 10, em 26/06/2015, 10h:49min).

Tabela 6. Composição química do eletrodo 4306 LCW (E308L-17) KESTRA

C	Cr	Ni	Si	Mn
<0,03	19,5	10,5	<0,9	<1,5

Fonte: <http://www.kestra.com.br/PDF/consumiveissoldagem.pdf>,

Figura 4. Metal de adição utilizado



Figura 5. Metal de adição utilizado



3.2 Soldagem do Aço por SMAW

Nesta soldagem foi utilizado o eletrodo E308L-17 com espessura de 2,5 mm, do fabricante KESTRA, conhecido também por sua marca comercial 4306 LCW. A soldagem foi realizada dentro dos parâmetros estabelecidos pelo fabricante:

Tabela 7. Parâmetros estabelecidos pelo fabricante para soldagem

Ø (mm)	Amperagem (A)	Posição de Soldagem	Corrente/Polaridade
2,50	65 - 85	Sobre cabeça horizontal, vertical ascendente, plana e ângulo	Continua – Polo positivo ou corrente alternada

Fonte: <http://www.kestra.com.br/PDF/consumiveissoldagem.pdf>

Como fonte de energia, foi utilizado um equipamento emprestado pela FATEC do fabricante ESAB, modelo Origo Arc 458t. É um equipamento com característica de

corrente constante, destinado a soldagem com eletrodos revestidos em corrente contínua. Pode ser utilizado também para soldagem em pelo processo TIG.

Figura 6. Máquina de soldagem utilizada no estudo



Figura 7. Máquina de soldagem utilizada no estudo



O corpo de prova foi soldado na posição plana, conforme os parâmetros estabelecidos pelo fabricante do eletrodo.

Figura 8. Metal base na posição em que foi realizada a soldagem



3.3 Corpo de Prova Pós-soldagem

A figura mostra o corpo de prova após a soldagem.

Figura 9. Corpo de prova soldado



Foi utilizada uma serra do fabricante AtlasMaq, modelo SFA-550, para de efetuar os cortes nas dimensões finais.

Na imagem seguinte temos na parte superior as amostras soldadas. Já na parte inferior da imagem temos as amostras apenas do metal base sem a solda.

Figura 10. Corpos de prova soldados e sem solda



3.4 Limpeza dos corpos de prova para imersão

Com o objetivo de fazer o ensaio de corrosão as amostras foram limpas em uma cuba ultrassônica KA-020 da marca KITEST com um tempo pré-determinado de 10 (dez) minutos imersos em beakers com querosene, para posteriormente ser imersa nas soluções já descritas para o teste de corrosão.

Figura 11. Limpeza das amostras por ultrassom

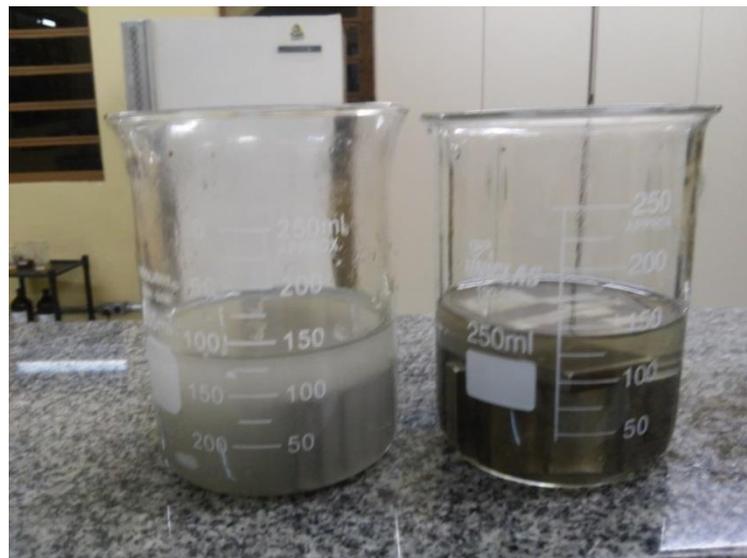


A limpeza dos corpos de prova foram feitas no laboratório da Fatec.

Figura 12. Cuba ultrassônica para limpeza das amostras



Figura 13. Beckers com amostras imersas em querosene após a limpeza



3.5 Ensaio de corrosão por imersão

Nesta etapa foram imersos os corpos de prova soldados e os corpos de prova sem solda (apenas metal base), em soluções de petróleo e diesel em um período já pré-determinado, sendo estipulado o prazo mínimo de 30 dias de imersão. A taxa de corrosão dos corpos de prova foi determinada conforme a fórmula apresentada em GENTIL (2007). A seguir, as imagens das amostras imersas nas soluções descritas.

Figura 14. Amostras imersas em petróleo e diesel



Figura 15. Amostras imersas em Diesel



Figura 16. Amostras imersas em petróleo



4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.1 Ensaio de corrosão por imersão

Tabela 8. Medida de massa das amostras de Metal base

Amostras	Solução	Peso antes da imersão (g)	Peso após imersão (g)
Amostra 1	Petróleo	62,2790	62,2790
Amostra 2	Petróleo	62,5359	62,5359
Amostra 3	Petróleo	61,8792	61,8786
Amostra 4	Diesel	62,6334	62,6334
Amostra 5	Diesel	62,1019	62,1017
Amostra 6	Diesel	62,2883	62,2882

Tabela 9. Medida de massa das amostras soldadas

Amostras	Solução	Peso antes da imersão (g)	Peso após imersão (g)
Amostra 1	Petróleo	62,4446	62,4427
Amostra 2	Petróleo	64,0604	64,0604
Amostra 3	Petróleo	63,6871	63,6862
Amostra 4	Diesel	64,0271	64,0258
Amostra 5	Diesel	62,5769	62,5762
Amostra 6	Diesel	62,8010	62,7979

Após ser feito o ensaio de corrosão as amostras foram pesadas. Posteriormente foi feito o cálculo da taxa de corrosão para todas as amostras, considerando o período de exposição que foi de 34 dias e densidade = 7,83 (g/cm³). Foram obtidos os seguintes resultados:

Amostras de Metal Base

Tabela 10. Taxa de corrosão classificação do metal Base

Amostras	Solução	Taxa de Corrosão (mm/ano)	Classificação da Corrosividade
Amostra 1	Petróleo	0	N/H
Amostra 2	Petróleo	0	N/H
Amostra 3	Petróleo	0,0002425	Baixa
Amostra 4	Diesel	0	N/H
Amostra 5	Diesel	0,0000808	Baixa
Amostra 6	Diesel	0	N/H

Amostras Soldadas

Tabela 11. Taxa de corrosão classificação das amostras soldadas

Amostras	Solução	Taxa de Corrosão (mm/ano)	Classificação da Corrosividade
Amostra 1	Petróleo	0,0007682	Baixa
Amostra 2	Petróleo	0	N/H
Amostra 3	Petróleo	0,0003638	Baixa
Amostra 4	Diesel	0,0005256	Baixa
Amostra 5	Diesel	0,0002830	Baixa
Amostra 6	Diesel	0,0012533	Baixa

5 CONCLUSÃO

Ancorado nos resultados obtidos e observações realizadas neste trabalho, na soldagem do aço inoxidável AISI 304 com o processo SMAW pôde-se concluir que:

- Constatou-se, que os corpos de prova que não foram submetidos ao processo de soldagem não apresentaram corrosão no período estabelecido de imersão nas soluções.
- Nas amostras submetidas ao processo de soldagem houve uma baixa corrosão. As amostras que ficaram imersas no petróleo sofreram uma maior taxa de corrosão.
- Não houve ensaios pós-soldagem para se verificar possíveis descontinuidades, o que pode ter facilitado essa maior taxa de corrosão.

REFERÊNCIAS

- SILVA, A. L. V. da C. **Aços e Ligas Especiais**. 3ª edição – São Paulo: Edgard Blücher, 2010.
- DRAPISNKI, M. E. J. **Solda de Manutenção**. – São Paulo: 1969.
- GUEDES, L. C. **Aços Inoxidáveis Autênticos**.- [S.l]: Hemus 1994.
- MODENESI, P. J. **Soldagem – Fundamentos e Tecnologia**. Belo Horizonte: UFMG, 2005.
- QUITES, A. M. **Metalurgia na Soldagem dos Aços**. 1ª edição – Florianópolis: Soldasoft, 2008.
- GENTIL, V. **Corrosão**. 6ª edição - Rio de Janeiro: LTC, 2011.
- CHIAVERINI, V. **Aços e Ferros Fundidos**. 7ª edição - São Paulo: ABM, 2008.
- BRANDI,
- RAMATHAN, L. V. **Corrosão e seu Controle**. 1ª edição – São Paulo: Hemus, 2006
- THOMAS, J. E. **Fundamentos de Engenharia de Petróleo** – Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2001.
- Caracterização do eletrodo: (Disponível em:
<<http://www.kestra.com.br/PDF/consumiveissoldagem.pdf>>, página 10, acesso em:
(26/06/2015, 10h:49min).
- PETROBRÁS – Disponível em: <<http://www.petrobras.com.br/pt/nossas-atividades/areas-de-atuacao/exploracao-e-producao-de-petroleo-e-gas/>> acesso em: (05/07/2015).
- SOUZA, S.D. Disponível em <<http://www.mundoeducacao.com/quimica/oleo-diesel.htm>> acesso em: (10/07/2015).

GLOSSÁRIO

Abertura da raiz: separação entre as faces a serem soldadas na raiz da junta

Corrosividade: qualidade, característica, atributo do que é corrosível.

Soldabilidade: capacidade que o material tem de ser soldado. Um material que apresenta boa soldabilidade deve apresentar boas propriedades após a soldagem, que deve ser realizada dentro dos parâmetros estabelecidos por normas e pelo fabricante.