

FACULDADE DE TECNOLOGIA DE PINDAMONHANGABA

**Estudo de comportamento dos aços inoxidáveis 304, 316 e 321
Soldado com Eletrodo E-309L-16 em meios corrosivos: Água do
Mar e Diesel**

RAFAEL COSTA DE OLIVEIRA

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

Área de concentração: Ensaio de materiais.
Orientador (a): Prof.^a Dr.^a Ana Beatriz Ramos Moreira
Abrahão

Pindamonhangaba - SP
2017

OI415e Oliveira, Rafael Costa de.
Estudo de comportamento dos aços inoxidáveis 304, 316 e 321 soldados com Eletrodo E-309L-16 em meios corrosivos: água do mar e diesel / Rafael Costa de Oliveira / FATEC Pindamonhangaba, 2017.
54f.: il.

Orientadora Prof.^a Dr.^a Ana Beatriz Ramos Moreira Abrahão
Monografia (Graduação) – FATEC – Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba. 2018

1. Aço inoxidável. 2. Corrosão. 3. Água do mar. 4. Diesel.
5. Soldagem com eletrodo. I. Oliveira, Rafael Costa de. II. Abrahão, Ana Beatriz Ramos Moreira. III. Título.

CDD 669

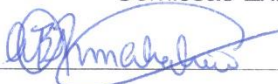
Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba

**“ESTUDO DE COMPORTAMENTO DE AÇOS INOX
304, 316 E 321 SOLDADO COM ELETRODO
E309L-16 EM MEIOS CORROSIVOS ÁGUA DO
MAR E DIESEL”.**

RAFAEL COSTA DE OLIVEIRA

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

Comissão Examinadora



Orientadora – Prof.ª Dra. Ana Beatriz Ramos Moreira Abrahão



Membro – Prof. Me. João Maurício Godoy



Membro – Sr. Luís Felipe Barbosa Marques

Pindamonhangaba, 07 de dezembro de 2017.

Dedico,

A Minha família, por toda a estrutura, carinho, ensinamentos e afeto que me deram e me concedem até hoje, nada seria possível sem isso, dedico também a todas as pessoas que convivem comigo, em especial a minha namorada, e a todas as pessoas que fazem parte da minha vida, umas mais próximas, outras não tanto, mas todas elas que carrego no pensamento em especial meus avós (In memoriam). Dedico também a todos os professores que tive até hoje, sem dúvida existe um pedacinho de dedicação de todos eles para que eu pudesse estar aqui escrevendo essas palavras e por fim dedico a toda sociedade brasileira que ajudamos todos os dias a construir.

AGRADECIMENTOS

- Agradeço a Deus pelo dom da vida, pela minha saúde e pela proteção de todos os dias;
- A minha família em especial minha mãe Vandira pelas orações e preocupações diárias, para que eu chegasse bem na faculdade e voltasse para casa nas mesmas condições com que me ausentei, ao meu pai Marcos, pelas preocupações, por todo apoio, assistência e conversas, ao meu irmão Breno pelo incentivo e preocupação, graças a Deus e a vocês deu tudo certo e a minha Tia Iraci pela grande ajuda e apoio nos primeiros meses da faculdade;
- A minha namorada Brenda por dividir comigo as alegrias e fadigas diárias, por estar sempre me apoiando e me ajudando até mesmo com os trabalhos da faculdade;
- A Professora Mestre Ana Beatriz Ramos Moreira Abrahão pela dedicação e orientação na elaboração desse projeto de graduação;
- Ao meu amigo Maurílio pelas piadas, zoeiras e responsabilidade para executar os trabalhos propostos ao longo do curso;
- Aos meus amigos Marcelo, Marcos, Gustavo e outros que dividiram comigo 160 quilômetros diários de viagem para que pudéssemos estudar;
- A todos os meus colegas de classe que estudaram comigo ao longo desses anos;
- A pessoal do meu trabalho, Tiago, Fernando e Luís pelas explicações e ensinamentos de matemática e física que tanto foi útil nas provas e avaliações;
- Ao motorista da Van Sr. Oswaldo pelo profissionalismo e atenção;
- A todos os professores da Fatec Pindamonhangaba pelos ensinamentos e conhecimentos repassados a nós alunos;
- A equipe de auxiliar docente representada pelo Edilon e Luiz, obrigado pela ajuda nos laboratórios;
- A todos que me ajudaram direta ou indiretamente e a toda nação brasileira que financia nossos estudos.

*Para se formar um homem abastado
se sacrifica a vida de centenas
de homens miseráveis.*

Sem autor definido

Se não sabes, aprende; se já sabes, ensina.

Confúcio

OLIVEIRA, R.C. **Estudo de Comportamento dos Aços Inoxidáveis 304, 316 e 321 Soldado com Eletrodo E-309L-16 em meios corrosivos: Água do Mar e Diesel.** 2017. 52 fls. Trabalho de Graduação (Graduação Processos Metalúrgicos) – Faculdade de Pindamonhangaba, 2017.

Resumo

O aço inoxidável está inserido ao grupo dos materiais amplamente aplicados em diversos setores industriais no mundo todo. Isso acontece porque os projetistas encontram nesse material duas qualidades principais: capacidade de resistência mecânica aliado a capacidade de resistência a corrosão. Dentro da classe dos aços inoxidáveis existem cinco principais categorias: martensíticos, ferríticos, austeníticos e ferríticos-austeníticos ou também chamados de dúplex. Os processos de fabricação aplicados ao material para obtenção do produto final também é uma preocupação a ser levada em consideração nos projetos, como por exemplo, o processo de soldagem. Dessa maneira, esse estudo se destina a verificar o comportamento de resistência à corrosão dos aços inoxidáveis da categoria dos austeníticos do tipo 304, 316 e 321 e a interação do processo de soldagem utilizando eletrodo E-309L-16 nesses materiais expostos aos meios corrosivos: água do mar e diesel, comuns em indústrias off-shore, indústrias de combustíveis e energia, refinarias, empresas de transporte entre outras. Busca-se a partir desse pensamento verificar entre os materiais escolhidos, alterações positivas e/ou negativas oriundas do processo de soldagem aplicado, em relação às características originais dos aços inox em questão e assim determinar os materiais que obteram melhores resultados de resistência à corrosão para cada meio corrosivo analisado. Foram realizados ensaios de imersão com amostras dos aços inoxidáveis citados acima e em determinadas amostras foi aplicado o processo de soldagem e outras não para que se pudessem encontrar valores comparativos de desempenho sobre resistência à degradação entre os materiais. Foram observados os resultados obtidos através do cálculo da taxa de corrosão e análise das imagens de microscopia ótica, constatando maiores taxas de corrosão no inoxidável 321 não soldado, tanto na água do mar quanto no diesel, e menores taxas de corrosão encontradas nos inoxidáveis 316 soldado e 321 soldado, ambos imersos em água do mar.

Palavras-Chave: Aço inoxidável. Corrosão. Água do mar. Diesel. Soldagem com eletrodo.

OLIVEIRA, R.C. **Study of Comportamento of the Stain less Steel 304, 316 and 321 Welded by Electrode E-309L-16 in the corrosion fluids: Sea Water and Diesel.** 2017. 52 sheets. Graduate Work (Graduate in Mechanical Processes) – College of Technology of Pindamonhangaba.

Abstract

The Stainless Steel is inserted to group of the materials largely utilized in several industrial sectors of the world. This is happens because the mechanicals designers find in these material two important qualities: capacity of resistance mechanical and capacity of corrosion resistance. In the stainless steel classes, there are five principal categories: martensitics, ferritics, austenitics and ferritics-austenitics or too called of duplex. The manufactures processes applied in these materials to make the end product is an important worry accounted in the projects, for example, the welding processes. Thus, these study has the objective to check the conduct of corrosion resistance of the austenitics stain less steel of the types: 304, 316 and 321 and the interaction of the welding processes using electrode E-309L-16 with these materials exposed in the corrosion fluids: sea water and diesel, a lot commons in off-shore industrials, fuel and power industrials, oil refineries, transport companies and others. Search with these idea find between the materials selected, some changes positives and/or negatives from of the welding applied as compared with the originals technical features of the stainless steels studies to compare what samples obtain the best results of corrosion resistance in the corrosion fluids considered. It was realized test of immersing with the samples quotes in this text and some samples was applied the welding process to find values comparatives of performance about the corrosion resistance. It was checked too the results obtained by calculating the rate of corrosion and analysis of the images made by microscopy, where was detected a rate of corrosion bigger at stainless steel 321 not welded exposed at sea water and diesel. The rate of corrosion lower was detected at stainless steel 316 and 321 welded both immersed at sea water.

Keys-Word: *Stainless Steel. Corrosion. Sea Water. Diesel. Welding by electrode*

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1. DIAGRAMA DE SCHAEFFLER.....	24
FIGURA 2. TIPOS DE CORROSÃO MAIS FREQUENTE EM AÇOS INOXIDÁVEIS AUSTENÍTICOS	25
FIGURA 3. O CICLO DO PROGRAMA DE CONTROLE DA CORROSÃO.....	27
FIGURA 4. CHAPAS DE AÇOS INOXIDÁVEIS UTILIZADAS.....	29
FIGURA 5. COMPOSIÇÃO QUÍMICA DE REFERÊNCIA DOS AÇOS UTILIZADOS	29
FIGURA 6. ELETRODOS UTILIZADOS NO PROCESSO DE SOLDAGEM.....	30
FIGURA 7. COMPOSIÇÃO QUÍMICA DE REFERENCIA DOS ELETRODOS UTILIZADOS	30
FIGURA 9. CORTE DAS CHAPAS NA POLICORTE.....	31
FIGURA 8. AMOSTRAS PREPARADAS	31
FIGURA 10. CHAPA DE INOX SENDO SOLDADA.....	32
FIGURA 11. BALANÇA DE PRECISÃO UTILIZADA.....	33
FIGURA 12. RECIPIENTE COM DIESEL.....	33
FIGURA 13. RECIPIENTE COM ÁGUA DO MAR.....	33
FIGURA 14. MICROSCÓPIO UTILIZADO PARA CAPTURA DAS IMAGENS DE MICROSCOPIA.....	37
FIGURA 15. MODELO DE BEQUER UTILIZADO PARA LIMPEZA DAS AMOSTRAS	38
FIGURA 16. REPRESENTAÇÃO DA LIXA UTILIZADA PARA LIXAMENTO MANUAL DAS AMOSTRAS	38
FIGURA 17. AFERIÇÃO DE MASSA SENDO REALIZADA NA AMOSTRA.....	39
FIGURA 18. AMOSTRA DE INOX 304 NÃO IMERSA COM AMPLIAÇÃO DE 50 X. ...	42
FIGURA 19. AMOSTRA DE INOX 304 NÃO IMERSA – REGIÃO DA SOLDA COM AMPLIAÇÃO DE 50 X.	42
FIGURA 20. AMOSTRA DE INOX 304 IMERSA NÃO SOLDADA COM AMPLIAÇÃO DE 50 X.	42
FIGURA 21. AMOSTRA DE INOX 304 NÃO IMERSA – REGIÃO PRÓXIMA A SOLDA COM AMPLIAÇÃO DE 50 X.	42
FIGURA 22. AMOSTRA DE INOX 304 IMERSA – REGIÃO DA SOLDA COM AMPLIAÇÃO DE 50 X.	43
FIGURA 23. AMOSTRA DE INOX 304 IMERSA – REGIÃO PRÓXIMA A ZTA COM AMPLIAÇÃO DE 50 X.	43

FIGURA 24. AMOSTRA DE INOX 316 NÃO IMERSA COM AMPLIAÇÃO DE 50 X. ...	43
FIGURA 25. AMOSTRA DE INOX 316 NÃO IMERSA – REGIÃO DA SOLDA E ZTA COM AMPLIAÇÃO DE 50 X.	43
FIGURA 26. AMOSTRA DE INOX 316 IMERSA – REGIÃO DA SOLDA COM AMPLIAÇÃO DE 50 X.	44
FIGURA 27. AMOSTRA DE INOX 316 IMERSA NÃO SOLDADA COM AMPLIAÇÃO DE 50 X.	44
FIGURA 28. AMOSTRA DE INOX 321 NÃO IMERSA – REGIÃO DA SOLDA COM AMPLIAÇÃO DE 50 X.	44
FIGURA 29. AMOSTRA DE INOX 321 NÃO IMERSA COM AMPLIAÇÃO DE 50 X. ...	44
FIGURA 30. AMOSTRA DE INOX 321 IMERSA NÃO SOLDADA COM AMPLIAÇÃO DE 50 X.	45
FIGURA 31. AMOSTRA DE INOX 321 IMERSA – REGIÃO PRÓXIMA AO CORDÃO DE SOLDA COM AMPLIAÇÃO DE 50 X.	45
FIGURA 32. AMOSTRA DE INOX 321 IMERSA – REGIÃO DA SOLDA COM AMPLIAÇÃO DE 50 X.	45
FIGURA 33. AMOSTRA DE INOX 304 NÃO IMERSA COM AMPLIAÇÃO DE 50 X. ...	46
FIGURA 34. AMOSTRA DE INOX 304 NÃO IMERSA – REGIÃO DA SOLDA COM AMPLIAÇÃO DE 50 X.	46
FIGURA 35. AMOSTRA DE INOX 304 IMERSA NÃO SOLDADA COM AMPLIAÇÃO DE 50 X.	46
FIGURA 36. AMOSTRA DE INOX 304 NÃO IMERSA – REGIÃO PRÓXIMA A SOLDA COM AMPLIAÇÃO DE 50 X.	46
FIGURA 37. AMOSTRA INOX 304 IMERSA – REGIÃO DA SOLDA E ZTA COM AMPLIAÇÃO DE 50 X.	47
FIGURA 38. AMOSTRA DE AÇO INOX 316 NÃO IMERSA COM AMPLIAÇÃO DE 50 X.	47
FIGURA 39. AMOSTRA DE INOX 316 NÃO IMERSA – REGIÃO DA SOLDA E ZTA COM AMPLIAÇÃO DE 50 X.	47
FIGURA 40. AMOSTRA DE INOX 316 IMERSA – REGIÃO PRÓXIMA A ZTA COM AMPLIAÇÃO DE 50 X.	48
FIGURA 41. AMOSTRA DE INOX 316 IMERSA – REGIÃO DA SOLDA COM AMPLIAÇÃO DE 50 X.	48

FIGURA 42. AMOSTRA DE INOX 316 IMERSA – NÃO SOLDADA COM AMPLIAÇÃO DE 50 X.....	48
FIGURA 43. AMOSTRA DE INOX 321 IMERSA REGIÃO DA SOLDA COM AMPLIAÇÃO DE 50 X.	49
FIGURA 44. AMOSTRA DE INOX 321 IMERSA NÃO SOLDADA COM AMPLIAÇÃO DE 50 X.	49
FIGURA 45. AMOSTRA DE INOX 321 NÃO IMERSA – REGIÃO DA SOLDA COM AMPLIAÇÃO DE 50 X.	49
FIGURA 46. AMOSTRA DE INOX 321 NÃO IMERSA COM AMPLIAÇÃO DE 50 X. ...	49
FIGURA 47. AMOSTRA DE INOX 321 IMERSA – REGIÃO PRÓXIMA A ZTA COM AMPLIAÇÃO DE 50 X.	50

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. CLASSES DE CONSUMÍVEIS NORMALMENTE UTILIZADOS PARA SOLDAGEM DE AÇO INOXIDÁVEL	23
TABELA 2. EXEMPLO DE CONDIÇÕES DE SOLDAGEM PARA OS AÇOS INOXIDÁVEIS	23
TABELA 3. CLASSIFICAÇÃO DA CORROSIVIDADE.....	28
TABELA 4. CARACTERÍSTICAS DAS AMOSTRAS DE INOX 304.....	34
TABELA 5. CARACTERÍSTICAS DAS AMOSTRAS DE INOX 316.....	35
TABELA 6. CARACTERÍSTICAS DAS AMOSTRAS DE INOX 321	35
TABELA 7. VOLUME DE ÁGUA DO MAR UTILIZADO	36
TABELA 8. VOLUME DE DIESEL UTILIZADO.....	36

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1. RESULTADOS OBTIDOS EM ÁGUA DO MAR.....	40
GRÁFICO 2. RESULTADOS OBTIDOS EM DIESEL	41

SUMÁRIO

1. Introdução.....	16
2. Revisão Bibliográfica	17
2.1. Materiais Metálicos	17
2.1.1. Aços.....	18
2.1.2. Aços Inoxidáveis	18
2.1.3. Aços Inoxidáveis Austeníticos	20
2.1.3. Passivação de Aço Inoxidável	21
2.2. Processos de Soldagem.....	21
2.2.1. Soldagem por Eletrodo Revestido	22
2.2.1.1. Soldagem por Eletrodo Revestido em aço inoxidável.....	22
2.2.2. Diagrama de Schaeffler	23
2.3. Corrosão em aços inoxidáveis	234
3. Materiais e Métodos	29
3.1. Materiais Utilizados.....	29
3.1.1. Aço Inoxidável Austenítico	29
3.1.1.1. Composição de química.....	29
3.1.2. Eletrodo para soldagem	29
3.1.3. Água do Mar.....	30
3.1.4. Diesel.....	30
3.2.2. Soldagem	31
3.2.2.1. Tratativas das amostras soldadas	31
3.2.2.2. Processo Soldagem	32
3.2.2.3. Preparação das amostras soldadas	32
3.2.2.4. Procedimento de aferição da massa das amostras	32
3.2.3. Ensaios de imersão	33
3.2.3.1. Considerações gerais	33

3.2.3.2. Amostras de aço inoxidável 304 utilizado.....	34
3.2.3.3. Amostras de aço inoxidável 316 utilizado.....	34
3.2.3.4. Amostras de aço inoxidável 321 utilizado.....	35
3.2.3.5. Meio salino de imersão.....	36
3.2.3.6. Imersão em Diesel.....	36
3.2.4. Etapas Posteriores ao Ensaio de Imersão.....	37
3.2.4.1. Microscopia ótica das amostras.....	37
3.1.4.2. Limpeza das amostras.....	37
3.1.4.3. Aferição de massa das amostras após ensaio de imersão.....	38
3.1.4.4. Cálculo da Taxa de Corrosão.....	39
4. Resultados Obtidos.....	40
4.1. Análise de resistência à corrosão em água do mar.....	40
4.1.1. Taxas de corrosão em água do mar.....	40
4.2. Análise de resistência à corrosão em meio Diesel.....	41
4.2.1. Taxas de corrosão em Diesel.....	41
4.3. Imagens de Microscopia ótica.....	42
4.3.1. Comparação das amostras Imersas em Água do Mar.....	42
4.3.1.1. Aço Inoxidável 304.....	42
4.3.1.2. Aço Inoxidável 316.....	43
4.3.1.3. Aço Inoxidável 321.....	44
4.3.2. Comparação das amostras imersas em Diesel.....	46
4.3.2.1. Aço Inoxidável 304.....	46
4.3.2.2. Aço Inoxidável 316.....	47
4.3.2.3. Aço Inoxidável 321.....	48
5. Conclusões.....	50
6. Bibliografia.....	52
7. Apêndices.....	54

1. Introdução

O tema do trabalho desenvolvido é o estudo de comportamento de aços inox 304, 316 e 321 soldado com eletrodo E309L-16 em meios corrosivos: água do mar e diesel, de maneira a observar como o material irá se comportar quando em contato direto com essas substâncias. Prevendo possível tipo de degradação, será possível a partir da análise estabelecer uma correção na taxa de corrosão quando comparado ao inox que não passou pelo processo de soldagem.

A indústria da construção metal-mecânica possui uma vasta gama de materiais para serem empregados em áreas e situações diversas. De frente com esse cenário, muitas vezes a utilização e escolha correta de determinado material se mostram um tanto quanto complexa.

Segundo Chiaverini (2008), o aço inoxidável é uma categoria de materiais que possui resistência à corrosão.

Porém, essa categoria é muito ampla e existem inúmeros tipos de inox o que pode causar dificuldade na hora de se tomar a decisão de qual material apresentará melhor custo/benefício.

Considerando esse problema, o trabalho coloca em foco três tipos de aços inox dentre os mais utilizados pela indústria de construção mecânica para avaliar seu comportamento de resistência à corrosão quando submetido em contato direto a água do mar e diesel, substâncias que são bastante comuns em indústrias off-shore, indústrias de combustíveis e energia, refinarias, empresas de transporte entre outras.

O trabalho tem por objetivo encontrar resultados e respostas entre os inoxidáveis alvos da pesquisa, de forma a orientar a melhor escolha do tipo de aço inox mais indicado para aplicações em equipamentos onde a exposição à água do mar e/ou diesel se faz necessária.

De maneira a justificar este trabalho, ressalta-se a importância que a escolha do material mais adequado para cada situação é fundamental para garantir um retorno financeiro positivo, visto que os intervalos para reposição de peças são maiores, a manutenção torna-se menos frequente, o risco de falha do componente diminui. Levando em consideração também que alguns equipamentos como tanques e tubulações onde se transportam variados produtos que agridem o meio ambiente trazem grande risco ao mesmo quando se constata rompimento ou vazamentos.

O trabalho apresentará de maneira organizada informações sobre composição química dos aços analisados e descrição das substâncias químicas adotadas no trabalho. Foi abordado o conjunto de características de resistência anticorrosivas de cada liga, processos aplicados no

material que podem causar modificação microestrutural através de alterações térmicas, influências dos meios corrosivos aos quais as peças foram submetidas e métodos de preparação e manipulação das amostras e das substâncias utilizadas no experimento.

Informações tais como cuidados que devem ser tomados para preservar a integridade do material, testes práticos em laboratório de corrosão e análise em laboratório de metalografia também estão presentes neste estudo buscando sempre resultados precisos e seguindo todas as normas técnicas correspondentes a cada tipo de experimento.

2. Revisão Bibliográfica

2.1. Materiais Metálicos

Os materiais estão estreitamente relacionados com a vida de todo ser humano, mas muitas das vezes essa relação tão próxima não é percebida. Nos primórdios, os seres humanos tinham acesso apenas a materiais que eles encontravam na natureza, como por exemplo: pedra, madeira, argila, peles de animais entre outros. Com o passar do tempo, a evolução dos homens fez com que as necessidades se modificassem e a busca por novos materiais fossem de importância fundamental, assim surgiram a cerâmica e vários metais. Observou mais adiante que as propriedades dos materiais se modificam com processos de tratamento térmico e adição de substâncias químicas ao material base. Mesmo com essa descoberta, a humanidade ainda passou um período grande de tempo com a oferta de materiais limitados, tendo que optar por aquele que possuía características que mais se aproximavam do ideal para atender a necessidade de cada aplicação. Recentemente, período que corresponde aos últimos 100 anos, é que os estudos dos cientistas compreenderam melhor a relação entre as propriedades e seus elementos estruturais o que permitiu desenvolver diversos materiais diferentes com aplicações especializadas, possibilitando criar produtos mais complexos que tornam a vida da sociedade moderna mais confortável. Um dos materiais amplamente desenvolvido no último século são os metais, dentre eles destacam-se: ferro, alumínio, cobre, titânio, ouro e níquel. As propriedades mecânicas importantes dos metais são a dureza, a resistência, a ductilidade e a rigidez. A estrutura cristalina dos metais e suas ligas possuem átomos que estão arranjados de maneira ordenada quando comparados a materiais como a cerâmica e os polímeros. Em relação a suas características mecânicas, são considerados rígidos e resistentes, porém são dúcteis, ou seja, podem ser deformadas sem se romperem e também garante resistência a fratura. Graças a essas características, são amplamente

empregadas como elementos estruturais. Outras características atribuídas aos metais são a capacidade de condução de eletricidade e calor. Essa propriedade está ligada ao fato de que os materiais metálicos possuem elétrons livres que não estão ligados a átomos em particular. Metais não são transparentes a luz visível, mas possuem aparência brilhante e alguns tipos de materiais como o ferro, Cobalto e níquel possuem desejáveis propriedades magnéticas (CALLISTER, 2007).

Segundo Chiaverini (2008), as ligas metálicas são amplamente empregadas nos setores industriais e desenvolvidas nos setores de engenharia devido suas propriedades mecânicas, destacando a sua capacidade de suportar cargas. Também existe a possibilidade de obtenção de outras características, dependendo do tipo de material, estrutura cristalina e método de fabricação, mais propriedades podem ser agregadas, como por exemplo: resistência à corrosão, resistência ao calor, propriedades magnéticas e elétricas entre outras.

2.1.1. Aços

O metal mais utilizado em toda cultura tecnologicamente avançada é o ferro, ou mais precisamente dizendo, ligas binárias compostas por ferro e carbono. Esses dois elementos são responsáveis pela origem do aço e do ferro fundido, materiais que constituem grande parte das estruturas existentes (CALLISTER, 2007).

2.1.2. Aços Inoxidáveis

Segundo Colpaert (2008), aços considerados com resistência a corrosão e a oxidação, os chamados aços inoxidáveis, devem apresentar teores de cromo com no mínimo 12%. Esses aços, além das propriedades citadas, apresentam também propriedades mecânicas a temperaturas elevadas e tenacidade, essa última propriedade encontrada nos aços inoxidáveis austeníticos.

Na Alemanha entre 1908 e 1910, o cientista Dr. Breno Strub e o primeiro metalurgista Dr. Eduard Maurer, realizaram trabalhos com aços ao cromo e ao cromo-níquel, até que em 1910 surgiram os aços com 35% de níquel e cromo com porcentagem entre 13% a 14%. Em outubro de 1912, a firma Fried. Krupp deu entrada junto ao Império alemão a um pedido de patente DRP 304126 que fazia referência a fabricação de objetos com alta resistência a corrosão, e em dezembro daquele mesmo ano, outra patente DRP 304159 marcaram o nascimento dos primeiros aços inoxidáveis austeníticos, os chamados V2A, onde o V

significa experiência e o A austenita, compostos por 20% de cromo, 7% de níquel e 0,25% de carbono (PADILHA, 1994).

Os aços inoxidáveis em geral, apresentam uma boa resistência à corrosão em meios oxidantes pelo fato de contribuírem para a formação de camada passivadora e tendem a ser menos resistentes a corrosão em meios que inibem a formação do filme passivador, ou em substâncias que em contato com o metal destroem essa camada (ACELORMITTAL, 2008).

Os aços inoxidáveis são classificados em cinco categorias: *martensíticos*, *ferríticos*, *austeníticos*, *ferríticos-austeníticos*, também chamados de *dúplex*, e *endurecidos por precipitação*. Os inoxidáveis *martensíticos* são ligas de ferro e cromo, com Cr em porcentagens de 11% a 18% e de carbono em geral acima de 0,1%. São endurecíveis por tratamento térmico de têmpera. Pertencem a essa classe os aços AISI 403, 410, 414, 416, 420, 431, 440^a, 440B, 440C, 501. Dentre os citados, o aço 410 é o mais utilizado. Os aços inoxidáveis *ferríticos*, são ligas de ferro e cromo e não são endurecíveis por tratamento térmico de têmpera. Em geral, possuem porcentagem de cromo mais elevado que os aços martensíticos e por outro lado possuem teores de carbono menores. Essa classe é composta pelos aços AISI 405, 430, 430F, 446, 502. Os aços inoxidáveis *austeníticos*, basicamente são ligas de ferro, cromo em teores de 16% a 30%, e níquel em teores de 8% a 35%, e o carbono geralmente é inferior a 0,08%. Possuem estrutura basicamente austenítica após tratamento térmico comercial e por causa dessa característica, em geral não são magnéticas. Pertencem a esse grupo os aços AISI 301, 302, 304, 304L, 308, 310, 316, 316L, 317, 321, 347. Os aços inox *ferríticos-austeníticos*, os denominados *duplex*, possuem austenita e ferrita na sua microestrutura em quantidades aproximadamente iguais. Sua composição se baseia em ferro, cromo entre 18% a 27%, níquel variando entre 4% a 7%, molibdênio entre 1% a 4% e alguns outros elementos como, por exemplo, o nitrogênio que garante propriedades para diversas aplicações. Esse grupo de inoxidáveis tem como integrantes o AISI 329, UNS S32304 e S31803. Os aços inoxidáveis *endurecidos por precipitação*, em geral é composto por ferro, cromo em teores entre 12% a 17%, níquel entre 4% a 8%, molibdênio variando entre 0% a 2% e contém ainda adições de alumínio, cobre, titânio e/ou nióbio para que possa formar uma martensita dura de baixo carbono através da precipitação de compostos intermetálicos (COLPAERT, 2008).

Complementando a citação anterior, a resistência à corrosão dos aços inoxidáveis está ligada diretamente a formação de uma camada passivadora na superfície desse material, criando dessa forma uma barreira que limita o contato do metal com o meio, diminuindo assim a velocidade da reação. Essa camada, também chamada de filme passivador, vem sendo

alvo de estudos a aproximadamente dois séculos. Há duas teorias sobre sua origem e sua composição. Uma das teorias afirma que a camada é composta por óxido, produto oriundo a partir da reação do metal com o meio. A outra teoria parte que a película passivadora é formada por oxigênio e íons passivadores (PADILHA, 1994).

2.1.3. Aços Inoxidáveis Austeníticos

Aço inoxidável austeníticos, são os AISI 304, 308, 309, 309S, 310, 316, 317, 321 e 347. Eles possuem baixo-carbono, apenas no tipo 310 ele possui no máximo 0,25% de C. O cromo no 310 fica entre 24% a 26% e o níquel entre 19% a 22% (CHIAVERINI, 2008).

Os inoxidáveis austeníticos estão entre os mais comuns entre os aços inoxidáveis, pois possuem uma boa resistência à corrosão, elevada tenacidade e uma boa soldabilidade. Sua rede cristalina é composta pela formação FCC, (Cúbica de Face Centrada), considerando temperaturas em torno de 25°C. Isso ocorre porque há elementos químicos presentes como o níquel, e outros estabilizadores como o manganês que permitem essa formação em temperatura ambiente. Esses aços inoxidáveis possuem excelentes características para aplicações em trabalhos a temperaturas elevadas por apresentarem resistência à deformação e quente. O emprego desse material também se mostra satisfatório em temperaturas baixas, ou seja, possuem características criogênicas pelo fato de não sofrer a transição dúctil-frágil efeito muito comum quando se expõe materiais a temperaturas extremamente baixas (COLPAERT, 2008).

Em relação as propriedades mecânicas, composição e microestruturas dos aços inoxidáveis austeníticos, podem ser destacados uma grande aplicação desse material desde a utensílios domésticos até a equipamentos para fins industriais, onde muitas vezes são inseridos em ambientes agressivos aos diversos tipos de metais, levando ao processo de corrosão. Três principais elementos químicos presentes, o Fe-Cr-Ni, garantem ao aço inoxidável austenítico uma boa resistência mecânica e a corrosão em diferentes meios. Devido a esses fatores, a maior parte da produção de aços inox atualmente é dedicada a ligas de inoxidáveis austeníticos. (RIBEIRO, 2014).

Aço inoxidável austenítico 304, possui cromo e níquel. O inox 316, além de cromo e níquel possui molibdênio para aumentar a resistência à corrosão por *pitting*. Já o aço inox 321, além dos já citados cromo e níquel, apresenta também titânio para reduzir sensitização em contorno de grão quando exposto a altas temperaturas. A vasta gama de utilização do aço inoxidável austenítico está ligada principalmente com inúmeras características presentes

nessas ligas como a resistência a temperatura elevada, grande resistência à corrosão e oxidação, boa soldabilidade, conformabilidade entre outras. Essas propriedades não estão ligadas somente com a matriz autêntica, mas também outras fases que compõe esse tipo de aço como a ferrita, carbonetos, fases intermetálicas, nitretos, sulfetos, boretos, martensitas induzidas por deformação, todas esses fatores tendo grande influência nas propriedades do material (PADILHA, 1994).

2.1.3. Passivação de Aço Inoxidável

A passivação observada nos metais refere-se basicamente a formação de filmes ou camadas passivadoras na superfície dos materiais, considerando que sua espessura é extremamente fina, mas suficiente para impedir a reação do ambiente com o metal. Alguns materiais metálicos possuem a característica de formarem filmes passivadores naturalmente, chamada de atividade de auto-passivação, quando sua superfície entra em contato com o oxigênio do ambiente. Essa característica está presente também nos aços inoxidáveis a partir da combinação de seu elemento químico constituinte o cromo juntamente com o oxigênio do ar, formando assim a camada protetora chamada óxido de cromo. Entretanto, algumas condições podem desfavorecer a formação do filme protetor, como por exemplo, oxidação em alta temperatura do cromo que formam coloração por aquecimento na superfície, ocasionada por tratamentos térmicos ou soldagem, superfícies rugosas que originam depósitos de contaminantes mais facilmente, contaminações orgânicas que são geradas por resíduos de graxa, óleo, tinta, cola, entre outros elementos que impedem o contato do oxigênio do ambiente com o cromo do aço inoxidável. Métodos de limpeza são utilizados para diminuir significativamente esses problemas, são exemplos: métodos de limpeza mecânicos que consistem no lixamento, jateamento ou escovamento da peça, ou aplicação de métodos químicos com a aplicação de desincrustação química, decapagem química, decapagem eletrolítica e passivação ácida. (MORELLATO F.)

2.2. Processos de Soldagem

Soldagem é definida usualmente como um processo industrial que tem por objetivo a união entre peças utilizadas na fabricação ou manutenção de diversos equipamentos, buscando sempre garantir no cordão de solda as mesmas propriedades físicas, químicas e metalúrgicas do material base. Outros processos de soldagem incluem procedimentos, que

envolvem deposição de material na superfície para garantir melhores propriedades mecânicas e para recuperação de áreas superficiais comprometidas pelo desgaste (MODENESI, 2006).

Wainer (1992), explica que o processo de soldagem pode ser classificado pelo tipo de fonte energética ou pela característica da união. Cada processo terá suas vantagens e desvantagens, o equilíbrio desses pontos irá ajudar a definir qual a melhor opção. Dentre os principais processos de soldagem, observa-se o eletrodo revestido, arco submerso, MIG ou MAG, eletrodo tubular, TIG, plasma, eletroescória, resistência, oxigás, feixe de elétrons, laser, brasagem, soldagem branca e atrito.

2.2.1. Soldagem por Eletrodo Revestido

O processo de soldagem por eletrodo revestido, também conhecido pelo nome SMAW, é um método de união de metais realizado através do aquecimento gerado entre a peça e a e o metal de adição, devido à formação do arco elétrico que irá fundir a alma metálica do eletrodo juntamente com parte do metal base. O revestimento do eletrodo é responsável por manter condições favoráveis durante o processo de soldagem, podendo influenciar na composição química e influenciar nas propriedades metalúrgicas do cordão de solda. Existem algumas variedades de tipos de eletrodos revestidos combinando diferentes tipos de alma e revestimentos, basicamente o que irá determinar o consumível mais indicado, será o tipo de aplicação e composição química do metal base (MODENESI, 2006).

A aplicação do processo de soldagem por eletrodo revestido é um dos mais utilizados. Devido a sua vasta gama de aplicações e também por sua facilidade e simplicidade, levando em conta os equipamentos necessários, dependendo da aplicação se torna um processo com relativo baixo custo operacional (WAINER 1992).

2.2.1.1. Soldagem por Eletrodo Revestido em aço inoxidável

Quando se observa o emprego do processo de soldagem em aço inoxidável, mais precisamente em espessuras de até 3 mm, o eletrodo revestido pode ser utilizado, porém a técnica e o metal de adição escolhidos, deverão ser previamente analisados. Levando em conta a importância da escolha do consumível para cada tipo de metal base, Wainer (1992), descreve as classes de consumíveis normalmente utilizados para a soldagem de aços inoxidáveis, como mostra a tabela 1 abaixo:

Tabela 1. Classes de Consumíveis normalmente utilizados para soldagem de aço inoxidável

Classe AISI do metal base	Classe AISI do consumível
304	308
316	310
321	347/308L

Fonte: (WAINER, 1992)

Outro fator de extrema importância é com relação às condições de soldagem para os aços inoxidáveis. Wainer (1992, p.57), atribui essas informações conforme tabela 2.

Tabela 2. Exemplo de condições de soldagem para os aços inoxidáveis

Espessura (mm)	Nº de Passes	Ø Eletrodo (mm)	Corrente (A)	Velocidade de Avanço (mm/s)
Soldas de topo, posições plana e horizontal				
1	1	1,98	40	6
2	1	2,38	60	5
3	1	3,18	85	4

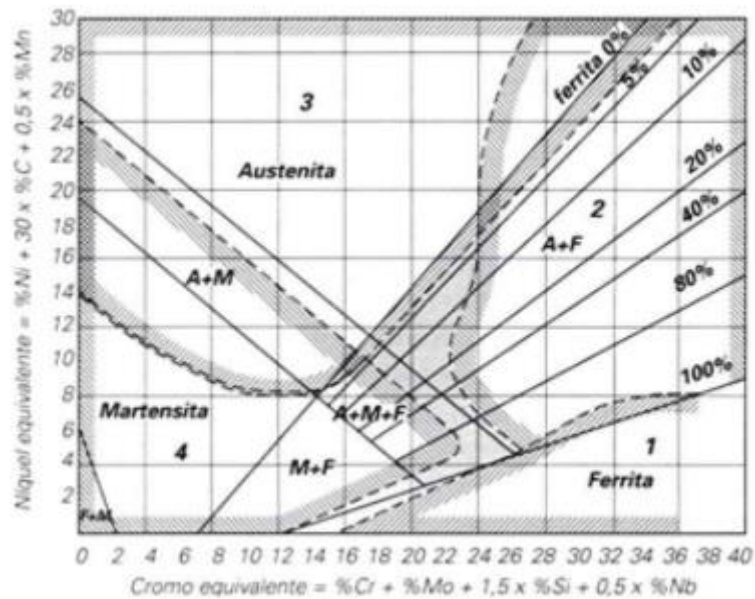
Fonte: (WAINER, 1992)

2.2.2. Diagrama de Schaeffler

O diagrama de Schaeffler foi criado na década de 50 para auxiliar o processo de soldagem dos aços inoxidáveis a fim de evitar problemas de descontinuidades e fragilizações tais como crescimento de grão, trinca a frio induzida por hidrogênio, precipitação da fase sigma, refere-se a diminuição na tenacidade, ductilidade e resistência a corrosão, pela exposição a temperaturas entre 700 a 900°C e trincas de solidificação e liquação. O diagrama é dividido em 5 partes, conforme mostra a figura 1, sendo que a região 1 é denominada região de crescimento de grão, região 2 como precipitação da fase sigma, região 3 chamada de zona propícia a trinca de solidificação, fase 4 como área de formação de trincas a frio induzida pelo hidrogênio e região central ou denominada quinta região onde é isenta de qualquer problema. Essa quinta região está situada em torno de 21% Cr equivalente e 10% Ni equivalente. A análise do diagrama de Schaeffler tem extrema importância para o controle dos efeitos do

processo de soldagem nos aços inoxidáveis, porém esse estudo mostra não ser totalmente suficiente, é importante a observação de outros fatores, como por exemplo, a quantidade de elementos residuais como fósforo e enxofre encontrados nos inoxidáveis austeníticos. A presença desses elementos químicos favorecem a formação de trincas de solidificação e liquação. Outro fator a observar sobre esse diagrama, é que apesar de seu grande auxílio para prever problemas de soldagem, esse método pode trazer eventuais problemas com relação a corrosão dos aços inoxidáveis austeníticos e ferríticos, como por exemplo, a precipitação de carbeto de cromo nos contornos de grão, devido a diminuição da quantidade de cromo na matriz e favorecendo a corrosão intergranular, devido ao calor proveniente do processo de soldagem. Essa sintetização pode ser diminuída utilizando metal base e de adição com baixo teor de carbono ou com elementos formadores de carbonetos como o titânio e o nióbio, porém, esses elementos também podem favorecer a formação da fase sigma, citados anteriormente (INFOSOLDA).

Figura 1. Diagrama de Schaeffler



Fonte: (INFOSOLDA, 2017).

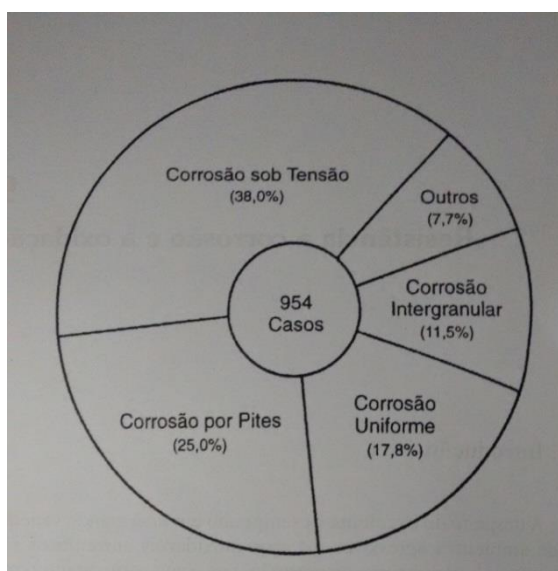
2.3. Corrosão em aços inoxidáveis

Um problema que afeta a integridade dos metais é a corrosão. Os aços e ferros fundidos sofrem grande impacto causado por esse fenômeno eletroquímico que normalmente se inicia pela superfície do material. O problema da corrosão é de proporções significativas

considerando fatores econômicos, pode chegar até 5% das receitas de uma nação industrializada, sejam gastos na prevenção da corrosão, manutenção ou substituição de produtos perdidos ou contaminados como resultado de reações de corrosão (CALLISTER, 2007).

Abordando a classificação dos tipos de corrosão, é levado em consideração o tipo de ataque que o metal sofreu. Se for constatado uma corrosão generalizada, esse tipo é denominado corrosão uniforme. Quando o ataque é verificado somente em pontos localizados, eles são classificados em sete principais tipos: corrosão por pites, corrosão galvânica envolvendo metais dissimilares, corrosão em frestas, corrosão seletiva, corrosão intergranular na ausência de tensão, corrosão intergranular com presença de tensão e tensão transgranular sob tensão. Apesar da grande capacidade dos aços inoxidáveis austeníticos suportarem ambientes agressivos, eles também são susceptíveis a alguns tipos de corrosão, como por exemplo, corrosão uniforme, corrosão por pites, corrosão intergranular, corrosão “risco de faca”, corrosão sob tensão, corrosão em frestas e erosão-cavitação, aos quais podem ocorrer de forma combinada ou não. A incidência dos tipos mais comuns de corrosão em aços inoxidáveis está representada na figura 1 abaixo:

Figura 2. Tipos de corrosão mais frequente em aços inoxidáveis austeníticos



Fonte: (PADILHA, 1994).

A corrosão uniforme ocorre principalmente quando os aços inoxidáveis são colocados em contato com ácido clorídrico, ácido fosfórico ou ácido sulfúrico. Essas substâncias interrompem ou dificultam a formação da camada de passivação. Fatores que irão indicar se a

corrosão ocorrerá ou não, é a concentração da solução e a composição da liga. A corrosão por pites é um tipo de corrosão localizada com geometria circular que tem variação em seu diâmetro. Pode ser medida em microns e/ou pode chegar a até milímetros. Tem uma agressividade alta, ou seja, pode perfurar o material em um pequeno intervalo de tempo. A película passivadora é susceptível a corrosão localizada principalmente se a solução conter íons halogênicos, em especial o Cl^- e o Br^- . A teoria de que a camada passivadora é formada por óxidos e possui póros, permite com que o Cl^- penetre mais facilmente essa camada atingindo o metal. Quanto maior a concentração do íon causador, menor o pH da substância e aumento da temperatura, a corrosão por pites se dá de forma mais intensa. A corrosão intergranular é caracterizada quando uma faixa estreita na superfície do metal sofre corrosão, isso se dá preferencialmente próximo aos contornos de grão. É bastante comum nos aços inoxidáveis austeníticos. Precipitados ricos em cromo nos contornos de grão causam problemas de corrosão intergranular. Atualmente 5 teorias explicam esse fenômeno. O primeiro deles, explica que há um empobrecimento de cromo nas regiões próximas ao contorno de grão, esse fato diminui a resistência à corrosão. A segunda teoria revela que em determinados meios alguns constituintes microestruturais são removidos. Terceira linha de pesquisa relata que há enriquecimento do contorno de grão em elementos que produzem dissolução anódica. A quarta teoria diz que é causada pelas tensões que existem nas vizinhanças dos contornos de grãos. A última teoria diz que o carboneto mais estável quimicamente nos contornos de grão atua como cátodo sobre a matriz adjacente. (PADILHA, 1994).

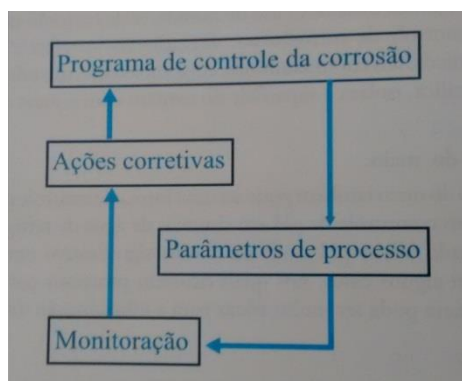
Ambientes corrosivos incluem a atmosfera, soluções aquosas, solos, ácidos, bases, solventes inorgânicos, metais líquidos e o corpo humano que também é meio corrosivo importante. A umidade que contém oxigênio dissolvido é o principal agente corrosivo, mas outras substâncias incluindo os compostos a base de enxofre e cloreto de sódio contribuem fortemente para desencadear e acelerar as reações de corrosão. Isso é especialmente verdadeiro em atmosferas marinhas, as quais são altamente corrosivas devido a presença de cloreto de sódio. Existe uma variedade de ambientes aquosos que influenciam o potencial e as características de corrosão. A água do mar em geral é mais corrosiva do que a água doce, produzindo com frequência as corrosões por pites e em frestas. O ferro-fundido, o aço, o alumínio, o cobre, o latão e alguns tipos de inoxidáveis são, em geral, adequados para uso em água doce, enquanto o titânio, o latão, alguns bronzes, as ligas de níquel-cromo-molibidênio são altamente resistentes à corrosão em água do mar. Talvez a forma mais comum e mais fácil

para se prevenir a corrosão, seja através de uma seleção criteriosa dos materiais após o ambiente corrosivo ter sido caracterizado. O conhecimento sobre as referências padrões de corrosão é de extrema importância para o estudo de caso (CALLISTER, 2007).

Segundo Tanaka (1983), o estudo sobre corrosão é fundamental para o bom resultado de um projeto, sendo uma importante preocupação entre os engenheiros e projetistas. Uma falha de equipamento por escolha indevida de material pode trazer danos irreparáveis. Entre esses danos pode ser citada a interrupção na produção, perda do produto, perda de rendimento, ou seja, mau funcionamento de um equipamento, e outras perdas catastróficas que podem surgir por problemas de corrosão, como por exemplo, acidentes terrestres, aéreos e navais.

Outro fator importante a ser levado em consideração é o controle da corrosão. Esse aspecto se baseia na seleção de materiais e projeto adequado, que visa assegurar o melhor material a ser aplicado ao meio levando em conta a viabilidade da relação custo/benefício. A modificação de interface é outro ponto a ser observado, ou seja, como o processo de corrosão se inicia na interface do material, as modificações realizadas como adição de películas protetora e pintura por exemplo, ajudam a minimizar as reações de corrosão. Quando possível a modificação do meio ao qual o material será exposto também pode ser uma alternativa, por exemplo o controle ou alteração do pH. Por último, uma das alternativas é recorrer aos métodos de proteção eletroquímica. Nesse processo utiliza-se o conceito de proteção catódica ou proteção anódica caso o material seja passivável. Ainda considerando o controle da corrosão, esse processo basicamente deverá obedecer a um ciclo fechado conforme figura 2 abaixo:

Figura 3. O ciclo do programa de controle da corrosão



Fonte: (JAMBO e FÓFANO, 2009).

Gentil descreve através da Norma NACE-RP-07-75 a classificação da corrosividade conforme tabela abaixo:

Tabela 3. Classificação da Corrosividade

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

Fonte: (GENTIL, 2007).

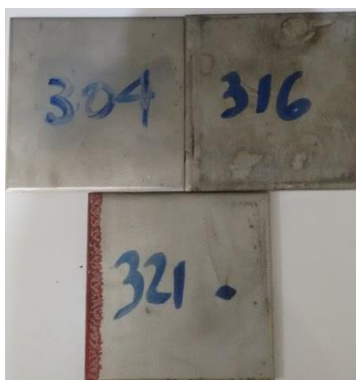
3. Materiais e Métodos

3.1. Materiais Utilizados

3.1.1. Aço Inoxidável Austenítico

Foram utilizados chapas de aços inox das classes 304, 316 e 321, com espessura de 4,00 milímetros para as análises de corrosão, conforme figura 3 abaixo:

Figura 4. Chapas de Aços Inoxidáveis utilizadas



3.1.1.1. Composição de química

A figura 4 mostra os valores de referência sobre a composição química dos materiais utilizados:

Figura 5. Composição química de referência dos aços utilizados

TP (AISI)	C (max.)	Mn (max.)	P (max)	S (max.)	Si (max.)	Cr (min.) (max.)	Ni (min.) (max.)	Mo	N	Outros Elemen- tos
304	0.08	2.00	0.045	0.030	0.75	18.0-20.0	8.0-10.5	-	0.10	-
316	0.08	2.00	0.045	0.030	0.75	16.0-18.0	10.0-14.0	2.00-3.00	0.10	-
321	0.080	2.00	0.045	0.030	0.75	17.0-19.0	9.0-12.0	-	0.10	Ti 5x (C+N) min, 0.70 max

Fonte: (GRUPO ELINOX, TABELA DE COMPOSIÇÃO QUÍMICA AÇO INOXIDÁVEL, 2017).

3.1.2. Eletrodo para soldagem

Para soldar as amostras de aços inoxidáveis presentes neste estudo de corrosão, foram utilizados os eletrodos revestidos AWS E309L-16 com diâmetro de 4,0 milímetros. A escolha do metal de adição foi realizada com base no diagrama de Schaeffler e as porcentagens de

Cr_{eq} e Ni_{eq} são demonstrados nos apêndices 3 (três), 4 (quatro) e 5 (cinco). A figura 5 abaixo mostra o consumível:

Figura 6. Eletrodos utilizados no processo de soldagem



Figura 7. Composição química de referencia dos eletrodos utilizados

OK® 67.61	C	0,03	Eletrodo de aço inoxidável com elevado teor de liga, destinado a soldagem de aços dissimilares e inoxidáveis com composições similares. O OK® 67.61 possui excelentes características operacionais em todas as posições, exceto na vertical descendente, tanto em CA como em CC. TAMBÉM ATENDE OS REQUISITOS PARA A CLASSIFICAÇÃO E309-17. HOMOLOGAÇÃO: FBTS, BV, DNV.
rutilico	Si	0,85	
ASME SFA 5.4	Mn	1,03	
E309L-17	Cr	23,66	
	Ni	12,26	
	Mo	0,19	

Fonte: (CATÁLOGO DE CONSUMÍVEIS ESAB, 2017).

3.1.3. Água do Mar

A água do mar utilizada neste estudo foi retirada da Praia da Enseada, Ubatuba-SP e não passou por nenhum tratamento posterior à coleta.

3.1.4. Diesel

O Diesel utilizado neste estudo é denominado S-50, tipo comum, e foi adquirido em um posto de combustíveis na cidade de Pindamonhangaba – SP e não passou por nenhum tipo de tratamento posterior.

3.2. Métodos

3.2.1. Preparação das amostras não soldadas

As chapas de inox iniciais tinham dimensões de aproximadamente 50 mm x 50 mm e espessura de 4,00 mm. A partir deste blank, as amostras foram traçadas e cortadas com

tamanhos de aproximadamente 10 mm x 10 mm. Para efetuar o corte foi utilizado a serra policorte de marca Arotec, modelo Aropol 40, 3500 rpm e posteriormente lixadas na lixadeira circular de marca Arotec, modelo Aropol 2.D.V afim de retirar as rebarbas provenientes do processo de corte. Para essa etapa foram utilizadas lixas da marca Norton de número 80 e 100 respectivamente. A figura 6 e 7 ilustra essa etapa:

Figura 9. Corte das Chapas na policorte

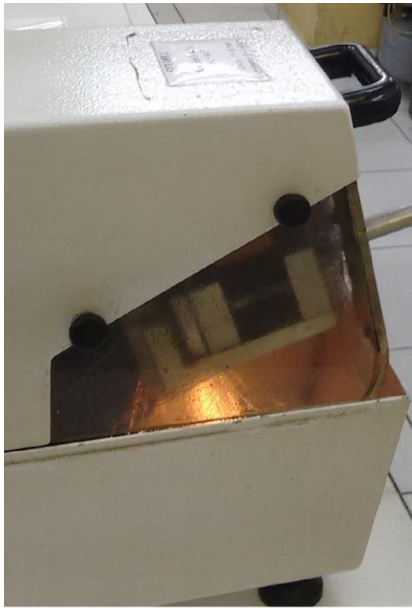


Figura 8. Amostras preparadas



3.2.2. Soldagem

3.2.2.1. Tratativas das amostras soldadas

Para as amostras que passaram pelo processo de soldagem, foi adotado que todas as chapas possuíssem a dimensão de aproximadamente 50 x 50 mm e espessura de 4 mm, sendo que a partir dessa premissa, esses blanks foram unidos através da aplicação de solda pelo processo de eletrodo revestido. Após a finalização dessa etapa, as amostras foram resfriadas naturalmente ao ar e foi realizada a limpeza superficial do cordão de solda utilizando uma escova de aço e panos limpos.

Na etapa seguinte, as chapas foram cortadas utilizando a policorte (conforme figura 8) de maneira a obter amostras com dimensões de aproximadamente 10 mm x 10 mm e espessura de 4 mm contemplando o cordão de solda, zona termicamente afetada (ZTA) e o metal base.

3.2.2.2. Processo Soldagem

O processo de soldagem utilizado é o denominado eletrodo revestido. O consumível utilizado foi o AWS E309L-16 com diâmetro de 4,0 milímetros. As duas chapas utilizadas eram da mesma classe e composição. Após a conclusão dessa etapa se obteve uma peça única. A posição de Soldagem aplicada foi a de topo na posição plana. A figura 9 abaixo exemplifica a etapa descrita:

Figura 10. Chapa de Inox sendo Soldada



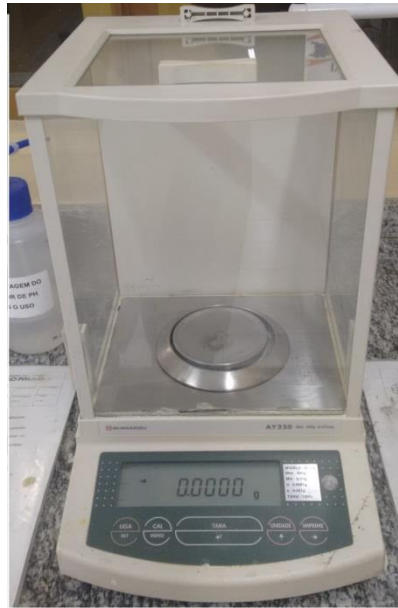
3.2.2.3. Preparação das amostras soldadas

As amostras soldadas foram preparadas a partir resultado obtido na etapa anterior, ou seja, o resultado da união de duas chapas formou-se uma única peça. A partir desse ponto, as chapas passaram pelo mesmo procedimento das amostras não soldadas, isto é, passaram pelo procedimento de corte na serra policorte e posteriormente nas lixadeiras circulares para retirada das rebarbas oriundas do corte. Essa etapa é ilustrada nas figuras 7 e 8.

3.2.2.4. Procedimento de aferição da massa das amostras

Nessa etapa as amostras foram identificadas e posteriormente submetidas ao processo de aferição de suas correspondentes massas, sendo devidamente anotadas todas as informações coletadas. Para isso foi utilizado balança de precisão de marca Shimadzu, modelo AY220, capacidade máxima 220 g. A figura 10 abaixo representa a tapa realizada:

Figura 11. Balança de Precisão utilizada



3.2.3. Ensaio de imersão

3.2.3.1. Considerações gerais

Para os ensaios de imersão, foram calculados os valores referentes aos volumes de cada substância que iriam submeter às amostras as análises de corrosão. O procedimento será detalhado nos tópicos adiantes. No mais, cada material foi separado conforme sua composição química e procedimentos aplicados às mesmas e foram utilizadas embalagens plásticas como recipientes para colocação da substância e das amostras. O tempo de imersão das amostras em água do mar foi de 147 dias e das amostras imersas em diesel foi de 252 dias. As figuras 11 e 12 abaixo demonstram os procedimentos adotados nessa etapa:

Figura 13. Recipiente com água do mar

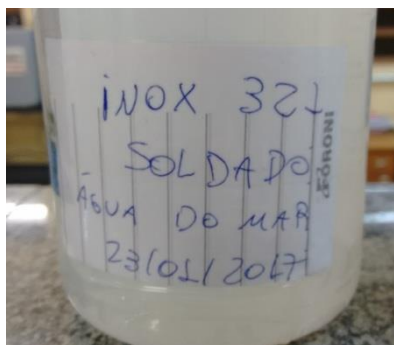
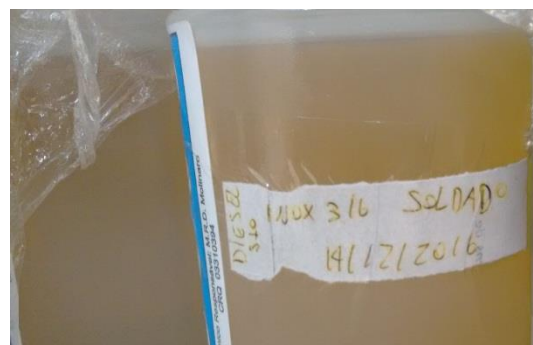


Figura 12. Recipiente com Diesel



3.2.3.2. Amostras de aço inoxidável 304 utilizado

Foram utilizadas ao todo desse material 12 amostras, sendo separadas e numeradas para que se pudesse determinar que as peças de 1 a 3 encontravam-se em estado bruto e foram imersas em água do mar. As amostras de número 4 a 6 foram soldadas e também imersas em água do mar. As peças ordenadas de 7 a 9 encontravam-se em estado bruto e foram imersas em diesel. Já as amostras numeradas de 10 a 12 foram soldadas e também imersas em diesel.

Abaixo segue as características na Tabela 3 das amostras antes de serem submetidas aos ensaios de corrosão, classificadas por material, dimensão, somatória das áreas e massa:

Tabela 4. Características das amostras de Inox 304

Aço Inoxidável do tipo 304						
Peça	Dimensão em centímetro (cm)			Σ Áreas (cm ²)	Massa (g)	Soldada
	X	Y	Z			
1	1,34	1,44	0,40	6,083	5,767	Não
2	1,27	1,31	0,40	5,391	4,950	Não
3	1,26	1,30	0,40	5,324	4,896	Não
4	1,04	1,05	0,40	3,856	3,206	Sim
5	0,82	1,08	0,40	3,291	2,457	Sim
6	1,10	1,03	0,40	3,970	3,364	Sim
7	1,19	1,16	0,40	4,640	4,109	Não
8	1,34	1,21	0,40	4,747	4,786	Não
9	1,30	1,30	0,40	5,460	5,114	Não
10	0,90	1,03	0,40	3,450	2,265	Sim
11	0,90	1,05	0,40	3,390	2,801	Sim
12	1,05	1,05	0,40	3,885	3,281	Sim

3.2.3.3. Amostras de aço inoxidável 316 utilizado

Foram utilizadas ao todo desse material 12 amostras, sendo separadas e numeradas para que pudesse determinar que as peças de 1 a 3 encontravam-se em estado bruto e foram imersas em água do mar. As amostras de número 4 a 6 foram soldadas e também imersas em água do mar. As peças ordenadas de 7 a 9 encontravam-se em estado bruto e foram imersas em diesel. Já as amostras numeradas de 10 a 12 foram soldadas e também imersas em diesel.

Abaixo segue as características na Tabela 4 das amostras antes de serem submetidas aos ensaios de corrosão, classificadas por material, dimensão, somatória das áreas e massa:

Tabela 5. Características das amostras de inox 316

Aço Inoxidável do tipo 316						
Peça	Dimensão em centímetro (cm)			Σ Áreas (cm ²)	Massa (g)	Soldada
	X	Y	Z			
1	1,37	1,43	0,40	6,158	5,928	Não
2	1,67	1,60	0,40	7,960	7,888	Não
3	1,63	1,51	0,40	7,435	7,382	Não
4	1,08	0,96	0,40	3,706	2,800	Sim
5	0,84	0,90	0,40	2,904	2,164	Sim
6	0,71	1,24	0,40	3,321	2,610	Sim
7	1,43	1,60	0,40	7,000	6,710	Não
8	1,30	1,56	0,40	6,344	6,058	Não
9	1,51	1,41	0,40	6,594	6,414	Não
10	0,98	2,05	0,40	6,442	6,017	Sim
11	0,96	2,12	0,40	6,534	5,987	Sim
12	0,91	2,02	0,40	6,020	4,815	Sim

3.2.3.4. Amostras de aço inoxidável 321 utilizado

Foram utilizadas ao todo desse material 12 amostras, sendo separadas e numeradas para que pudesse determinar que as peças de 1 a 3 encontravam-se em estado bruto e foram imersas em água do mar. As amostras de número 4 a 6 foram soldadas e também imersas em água do mar. As peças ordenadas de 7 a 9 encontravam-se em estado bruto e foram imersas em diesel. Já as amostras numeradas de 10 a 12 foram soldadas e também imersas em diesel.

Abaixo segue as características na Tabela 5 das amostras antes de serem submetidas aos ensaios de corrosão, classificadas por material, dimensão, somatória das áreas e massa:

Tabela 6. Características das amostras de inox 321

Aço Inoxidável do tipo 321						
Peça	Dimensão em centímetro (cm)			Σ Áreas (cm ²)	Massa (g)	Soldada
	X	Y	Z			
1	1,30	1,62	0,40	6,548	6,417	Não
2	1,41	1,38	0,40	6,060	5,880	Não
3	1,35	1,65	0,40	6,855	6,679	Não
4	1,07	1,71	0,40	5,883	5,491	Sim
5	0,93	1,76	0,40	5,426	4,952	Sim
6	1,23	1,70	0,40	6,524	6,002	Sim
7	1,54	1,43	0,40	6,780	6,592	Não
8	1,42	1,40	0,40	6,230	6,001	Não
9	1,57	1,31	0,40	6,105	6,176	Não
10	1,18	1,75	0,40	6,474	6,109	Sim
11	1,02	1,81	0,40	5,954	5,346	Sim
12	1,02	1,80	0,40	5,928	5,214	Sim

3.2.3.5. Meio salino de imersão

Ao todo foram utilizados aproximadamente 4 litros de água do mar para submergir as amostras de aço inoxidável. O volume total foi dividido levando em consideração a somatória de áreas das amostras, como mostra a tabela 6 abaixo:

Tabela 7. Volume de água do mar utilizado

Tipo de Material	Volume de Água do Mar em Litros
Amostras de Aço Inoxidável 304 não soldado	0,685 l
Amostras de Aço Inoxidável 304 soldado	0,450 l
Amostras de Aço Inoxidável 316 não soldado	0,870 l
Amostras de Aço Inoxidável 316 soldado	0,410 l
Amostras de Aço Inoxidável 321 não soldado	0,800 l
Amostras de Aço Inoxidável 321 soldado	0,750 l

3.2.3.6. Imersão em Diesel

Ao todo foram utilizados aproximadamente 4,125 litros de Diesel S50 para submergir as amostras de aço inoxidável. O volume total foi dividido levando em consideração a somatória de áreas das amostras, como mostra a tabela 7 abaixo:

Tabela 8. Volume de diesel utilizado

Tipo de Material	Volume de Diesel S50 em Litros
Amostras de Aço Inoxidável 304 não soldado	0,600 l
Amostras de Aço Inoxidável 304 soldado	0,450 l
Amostras de Aço Inoxidável 316 não soldado	0,800 l

Amostras de Aço Inoxidável 316 soldado	0,765 1
Amostras de Aço Inoxidável 321 não soldado	0,770 1
Amostras de Aço Inoxidável 321 soldado	0,740 1

3.2.4. Etapas Posteriores ao Ensaio de Imersão

3.2.4.1. Microscopia ótica das amostras

Nesta etapa as amostras foram retiradas dos meios corrosivos após o tempo determinado com auxílio de pinça. Posteriormente foi retirado o excesso de líquido com auxílio de papel toalha. Após este processo as amostras foram levadas ao laboratório metalográfico a fim de se obter as imagens de macrografia. As imagens foram obtidas através do Microscópio de Marca Zeiss, acoplado a câmera AxioCam ERc5s com ampliação máxima de 100 X, abaixo imagem do equipamento para ilustração do procedimento:

Figura 14. Microscópio utilizado para captura das imagens de microscopia



3.1.4.2. Limpeza das amostras

Após a coleta das imagens de microscopia, as chapas foram levadas ao laboratório de química novamente e foi realizada a limpeza manual das peças com auxílio de lixa redonda da

marca Norton, número 220, com objetivo de eliminar a camada superficial oxidada do material. Importante destacar que o lixamento foi realizado de maneira cuidadosa e sutil para não haver retirada do material que não sofreu oxidação. Finalizado o lixamento, para cada grupo de 3 amostras do mesmo material, foi elaborado uma imersão em 50 ml de álcool etílico absoluto PA colocado em béquer para retirada dos resíduos superficiais do material. Logo após o banho, com o auxílio de um secador, o álcool foi totalmente eliminado das amostras. As imagens 14 e 15 abaixo remetem ao procedimento realizado:

Figura 16. Representação da lixa utilizada para lixamento manual das amostras



Figura 15. Modelo de Bequer utilizado para limpeza das amostras



3.1.4.3. Aferição de massa das amostras após ensaio de imersão

Foram coletadas novamente as massas de todas as chapas que passaram pelo ensaio de corrosão com auxílio de uma balança de precisão da marca Shimadzu, modelo AY220, capacidade máxima 220 gramas, representada na imagem abaixo:

Figura 17. Aferição de massa sendo realizada na amostra



3.1.4.4. Cálculo da Taxa de Corrosão

O cálculo da taxa de corrosão partiu da comparação da massa das peças aferida antes do ensaio de imersão com a massa aferida logo após a retirada das amostras do meio corrosivo. Com a verificação da diferença entre os valores encontrados, pode-se determinar a taxa a partir da equação abaixo:

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

FONTE: (GENTIL 2007)

Onde:

T = Taxa de Corrosão

S = área exposta da superfície da amostra (cm²)

t = tempo em dias

d = densidade (g/cm³)

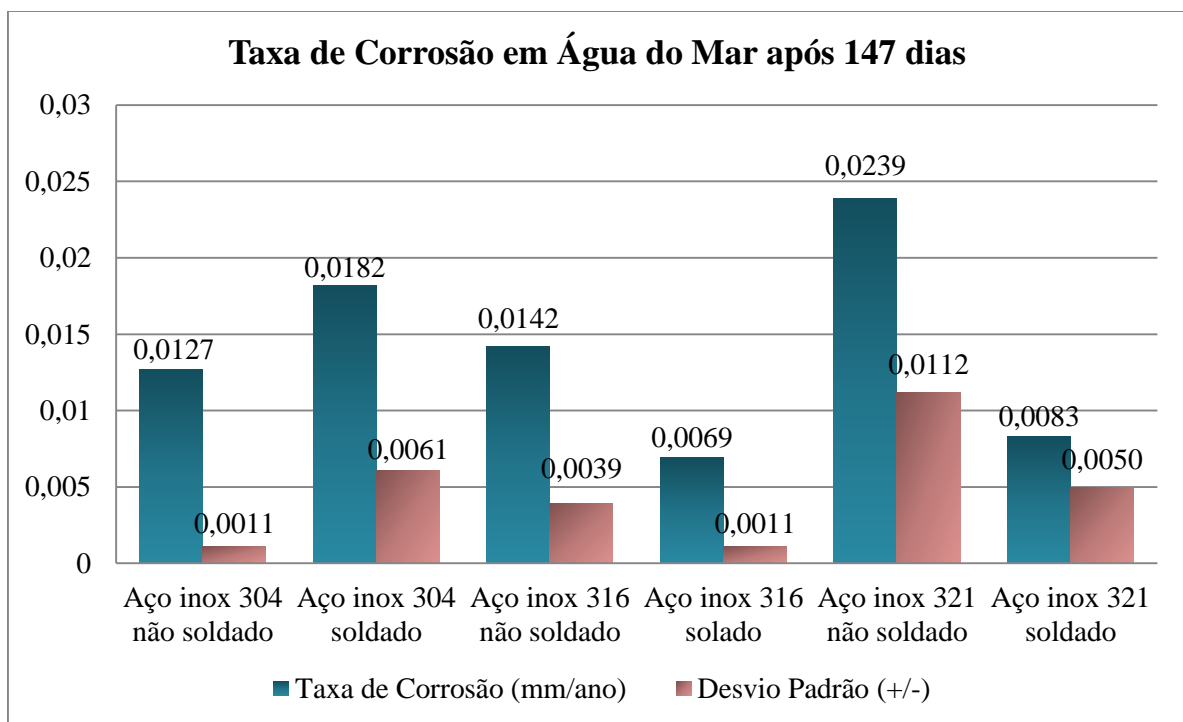
4. Resultados Obtidos

4.1. Análise de resistência à corrosão em água do mar

4.1.1. Taxas de corrosão em água do mar

Para o estudo da resistência à corrosão dos materiais soldados e não soldados por imersão foram calculados as taxas de corrosão. Os valores estão demonstrados pelo gráfico 1 e os dados completos no apêndice 1.

Gráfico 1. Resultados obtidos em água do mar



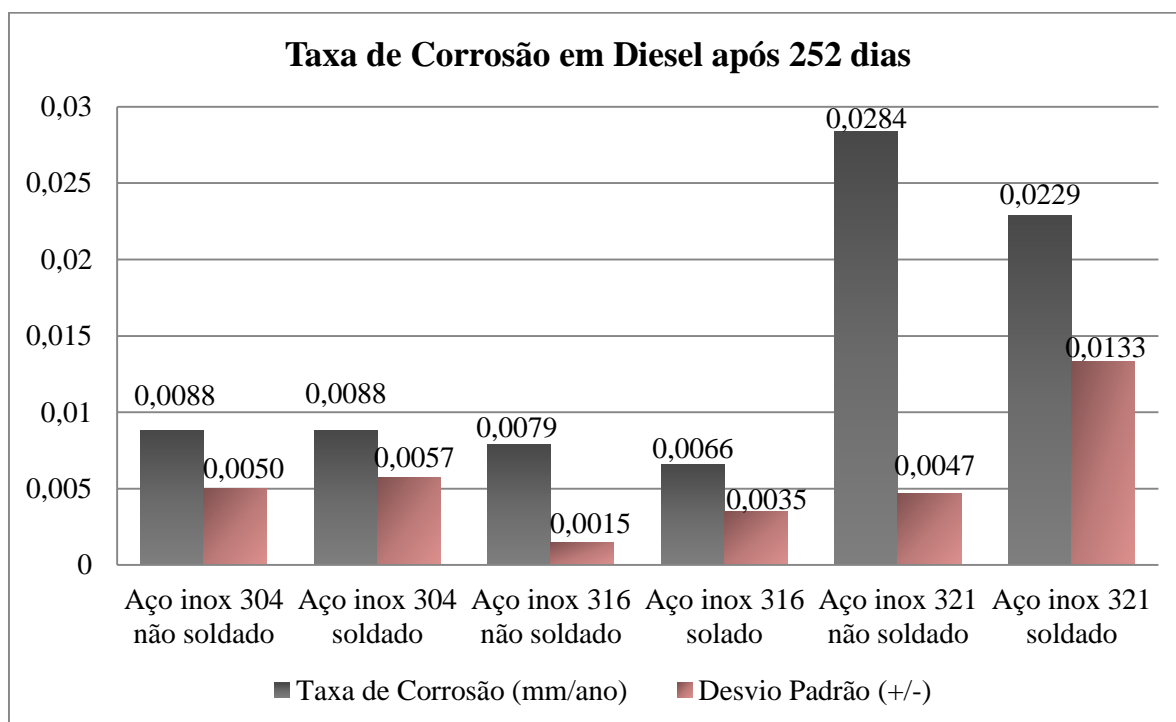
O aço inoxidável 316 soldado obteve o maior desempenho quanto à resistência a corrosão. Notou-se que o aço inox 316 e 304 não soldado ficaram com suas taxas de corrosão bem próximas e que o inox 304 soldado teve um aumento na taxa de corrosão quando comparado ao mesmo material não soldado. O destaque ficou para o aço inox 321 soldado que teve um aumento significativo em sua resistência à corrosão comparado ao inox 321 não soldado. O aumento na resistência ficou em torno de 3 vezes mais.

4.2. Análise de resistência à corrosão em meio Diesel

4.2.1. Taxas de corrosão em Diesel

Para o estudo da resistência à corrosão dos materiais soldados e não soldados por imersão foram calculados as taxas de corrosão. Os valores estão demonstrados pelo gráfico 2 e os dados completos no apêndice 2.

Gráfico 2. Resultados obtidos em Diesel



As taxas de corrosão do aço inox 304 soldado e não soldado e do inox 316 soldado e não soldado se mantiveram bem próximas e em níveis baixos. O destaque é do inox 321 tanto para a chapa soldada quanto para a chapa não soldada que demonstraram nos ensaios de corrosão suscetibilidade a degradação superior aos dos inoxidáveis 304 e 316. Observa-se ainda que o inox 321 não soldado obteve uma taxa de corrosão de aproximadamente 2 vezes o valor encontrado no aço inox 316 não soldado. Já o inox 321 soldado observou-se uma redução na taxa de corrosão na ordem de 20%.

4.3. Imagens de Microscopia ótica

4.3.1. Comparação das amostras Imersas em Água do Mar

4.3.1.1. Aço Inoxidável 304

Nas amostras de aço inoxidável 304 imersa em água do mar observam-se algumas mudanças na superfície do material como o surgimento de pequenos pontos escuros na chapa não soldada como mostra a figura 19 e na chapa soldada próxima a região da ZTA, figura 22, nota-se também a presença desses pontos, porém em maior quantidade. Por outro lado, a região do cordão de solda, figura 21, teve uma diminuição significativa nos pontos de corrosão.



Figura 18. Amostra de inox 304 não imersa com ampliação de 50 X.

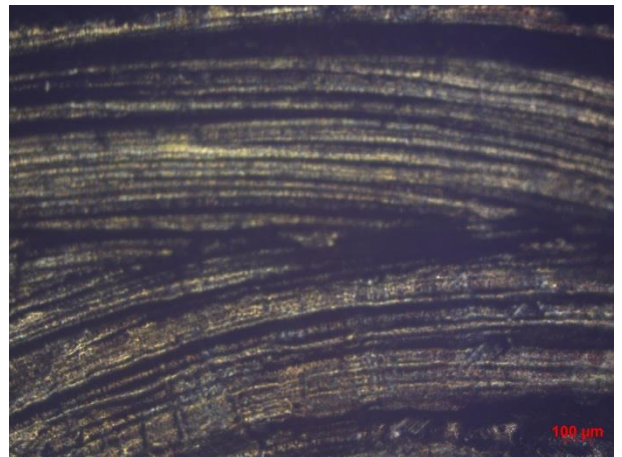


Figura 19. Amostra de inox 304 não imersa – região da solda com ampliação de 50 X.

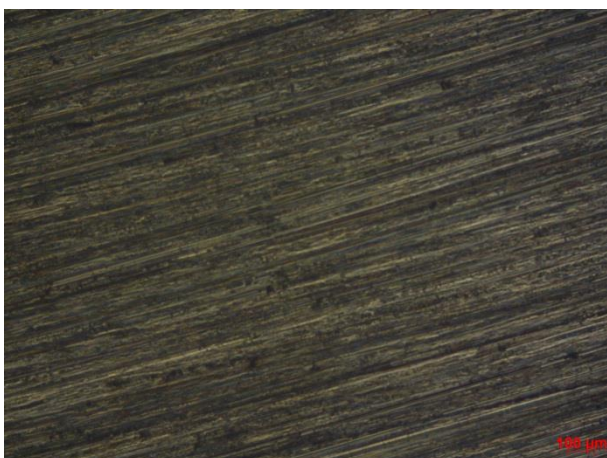


Figura 21. Amostra de inox 304 não imersa – região próxima a solda com ampliação de 50 X.

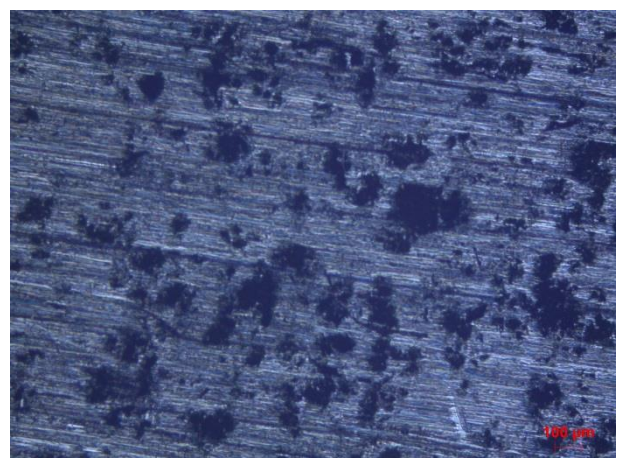


Figura 20. Amostra de inox 304 imersa não soldada com ampliação de 50 X.

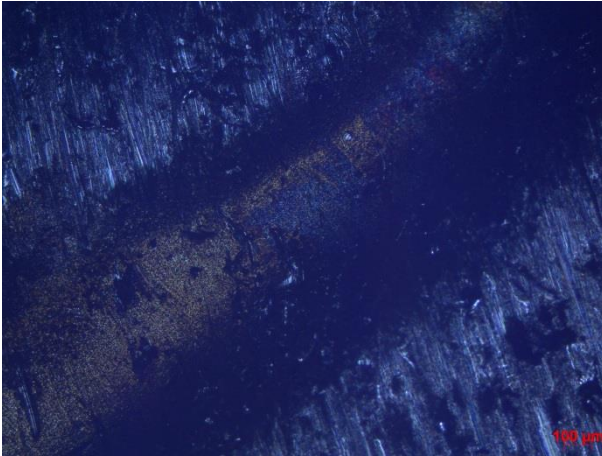


Figura 22. Amostra de inox 304 imersa – região da solda com ampliação de 50 X.

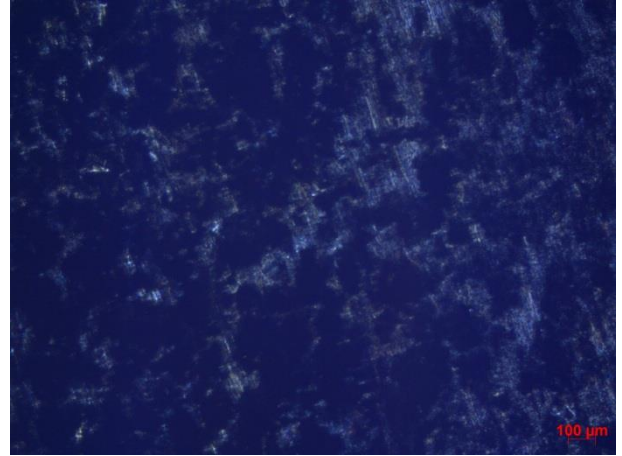


Figura 23. Amostra de inox 304 imersa – região próxima a ZTA com ampliação de 50 X.

4.3.1.2. Aço Inoxidável 316

Nos aços inoxidáveis 316 submetidos a imersão em água do mar, não foi identificado nas imagens de microscopia ótica alterações superficiais entre as chapas que não passaram pelo processo de estudo de corrosão comparado as peças que passaram pelo processo de análise de corrosão como mostram as figuras de 23 a 26.

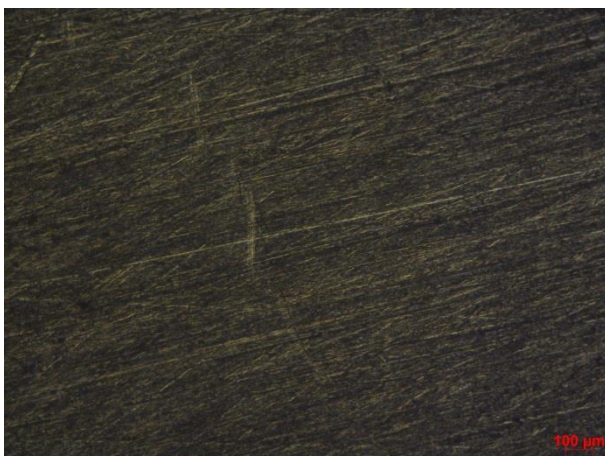


Figura 24. Amostra de inox 316 não imersa com ampliação de 50 X.



Figura 25. Amostra de inox 316 não imersa – região da solda e zta com ampliação de 50 X.

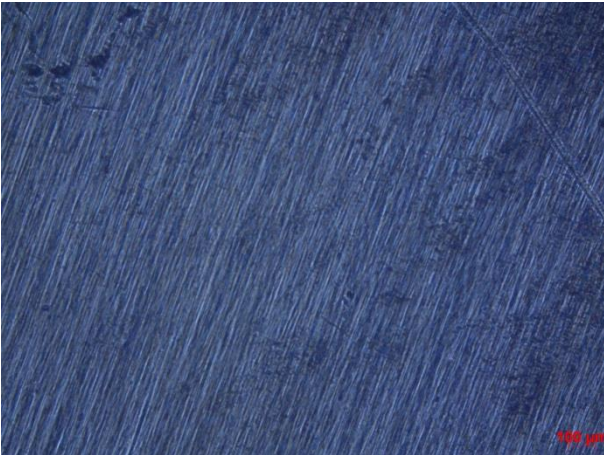


Figura 27. Amostra de inox 316 imersa não soldada com ampliação de 50 X.

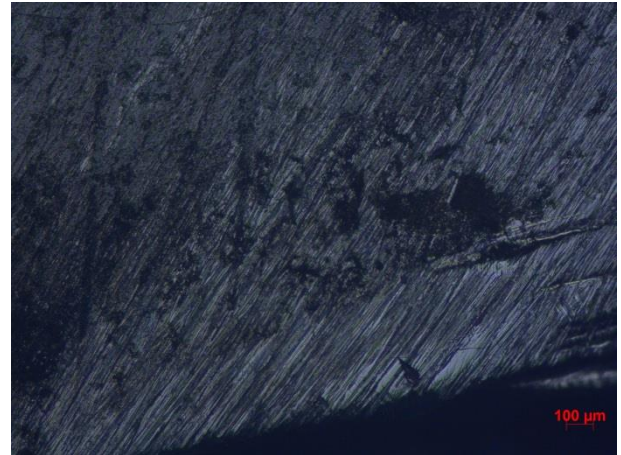


Figura 26. Amostra de inox 316 imersa – região da solda com ampliação de 50 X.

4.3.1.3. Aço Inoxidável 321

As imagens de microscopia ótica abaixo, se referem ao aço inox 321 no qual se pode observar na figura 29, pontos de corrosão na superfície da chapa não soldada imersa em água do mar. A figura 31 evidencia o cordão de solda e pouco se observa a presença de pontos de corrosão (pontos escuros) em sua superfície. Em atenção à chapa soldada, próxima a região do cordão como mostra a figura 30, pode ser notado a presença de pontos de corrosão embora seja possível perceber também uma diminuição nos já citados pontos escuros em comparação com a chapa não soldada, figura 29.



Figura 29. Amostra de inox 321 não imersa com ampliação de 50 X.

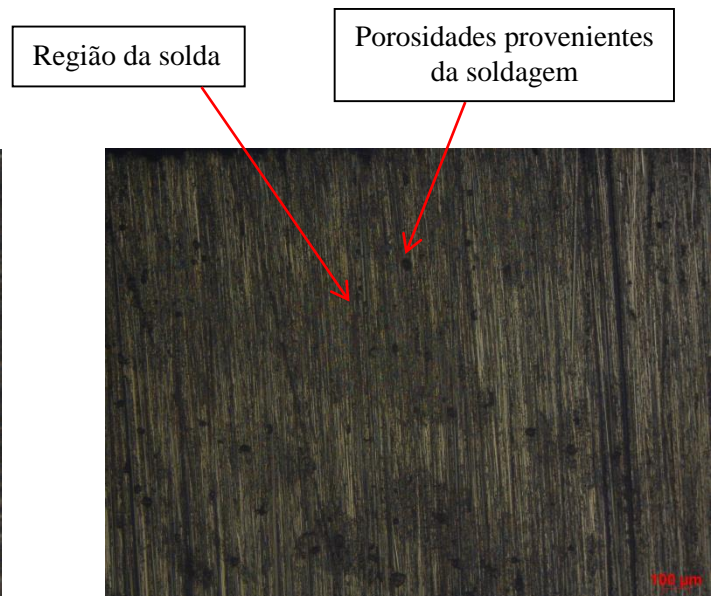


Figura 28. Amostra de inox 321 não imersa – região da solda com ampliação de 50 X.

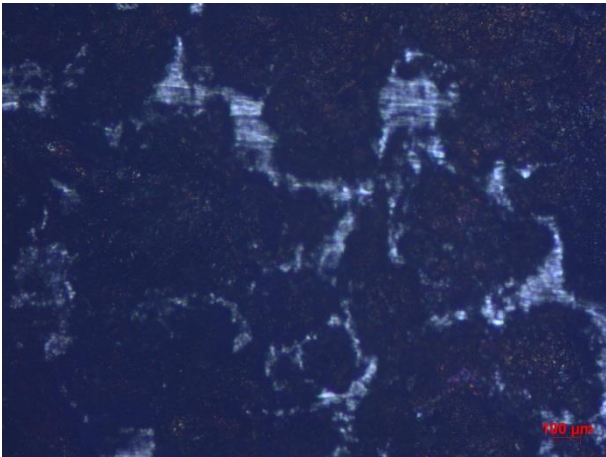


Figura 30. Amostra de inox 321 imersa não soldada com ampliação de 50 X.

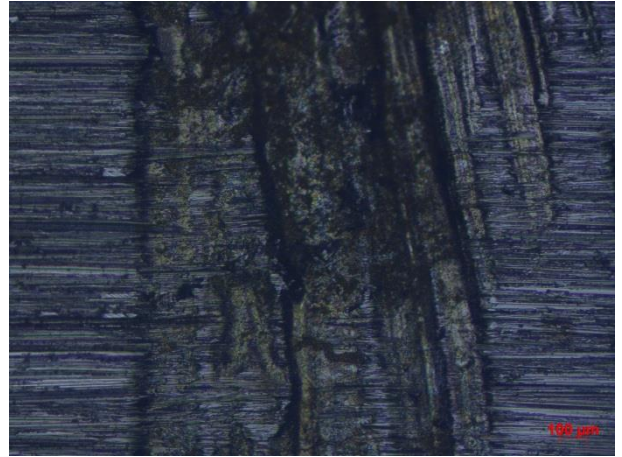


Figura 32. Amostra de inox 321 imersa – região da solda com ampliação de 50 X.

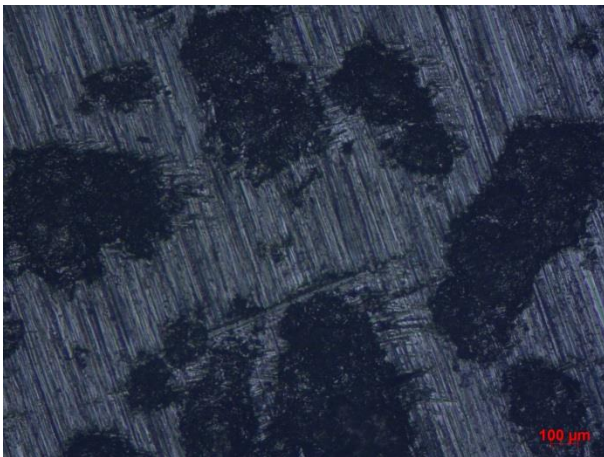


Figura 31. Amostra de inox 321 imersa – região próxima ao cordão de solda com ampliação de 50 X.

4.3.2. Comparação das amostras imersas em Diesel

4.3.2.1. Aço Inoxidável 304

Analisando as imagens das amostras de aço inox 304, pode ser observado que houve surgimento de pequenos pontos de corrosão na superfície da chapa não soldada imersa em diesel, figura 34, visto que a microscopia não revelou esses pontos na chapa que não passou pelo processo de imersão, figura 32. Continuando a leitura das imagens abaixo nota-se também na região da solda e ZTA da amostra soldada, figura 36, uma tendência de diminuição ou quase eliminação de todos os pontos de corrosão.



Figura 33. Amostra de inox 304 não imersa com ampliação de 50 X.

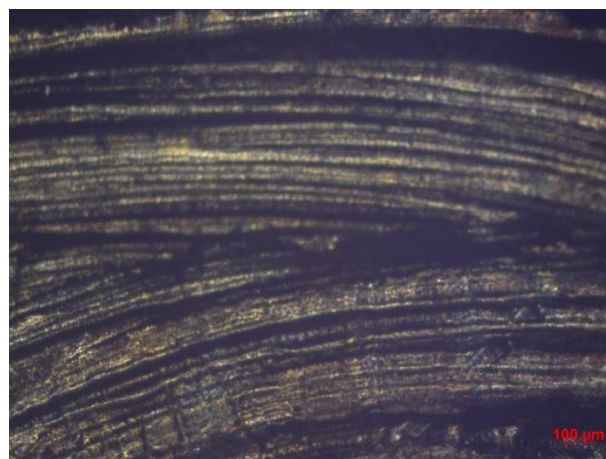


Figura 34. Amostra de inox 304 não imersa – região da solda com ampliação de 50 X.

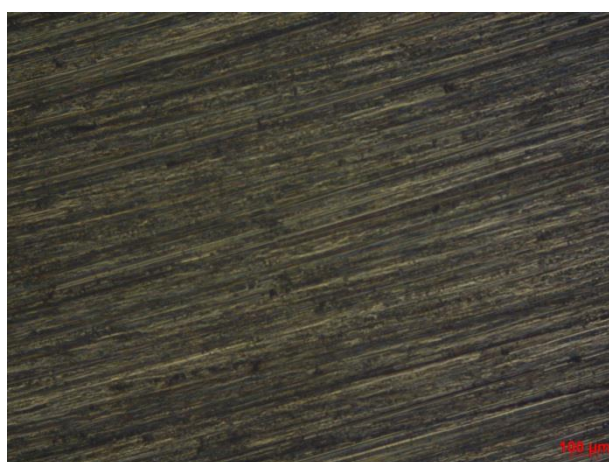


Figura 36. Amostra de inox 304 não imersa – região próxima a solda com ampliação de 50 X.

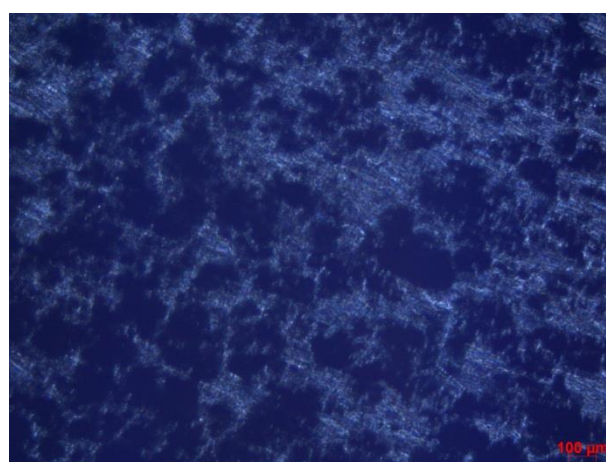


Figura 35. Amostra de inox 304 imersa não soldada com ampliação de 50 X.

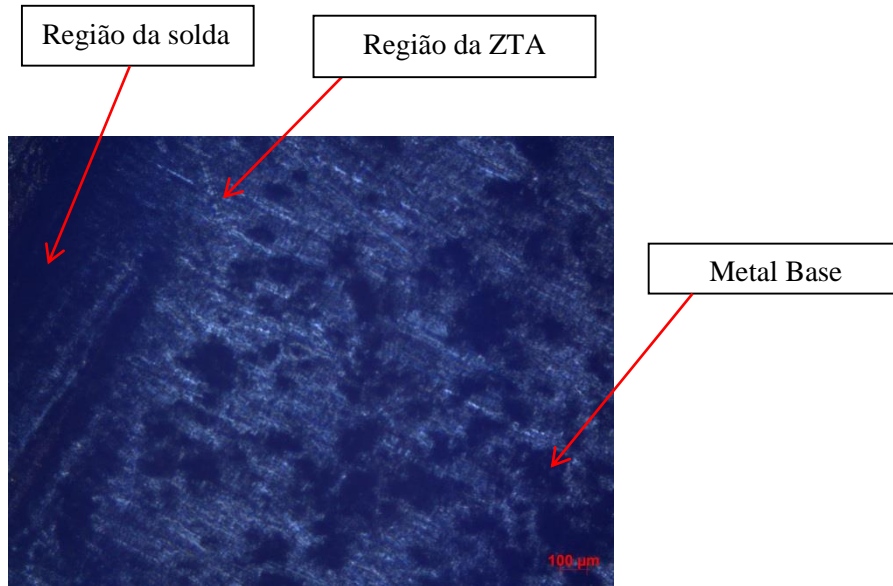


Figura 37. Amostra inox 304 imersa – região da solda e ZTA com ampliação de 50 X.

4.3.2.2. Aço Inoxidável 316

Com relação as imagens do aço inox 316 imerso em diesel, pode ser analisado na imagem da chapa não soldada, figura 41, imersa pontos casuais de corrosão na amostra analisada o que sugere pouco nível de corrosão nesse material combinado ao meio corrosivo utilizado. Isso é observado também na chapa soldada, figura 39, nenhum ponto escuro encontrado na imagem citada.

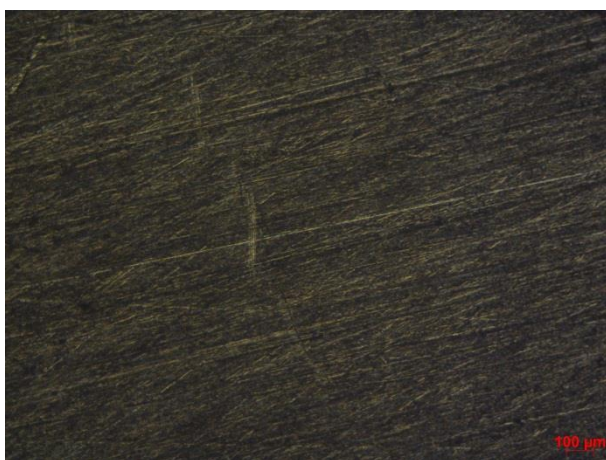


Figura 38. Amostra de aço inox 316 não imersa com ampliação de 50 X.

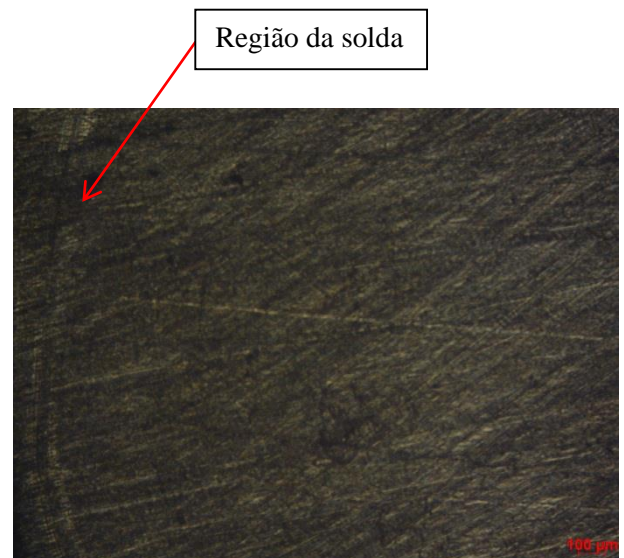


Figura 39. Amostra de inox 316 não imersa – região da solda e zta com ampliação de 50 X.

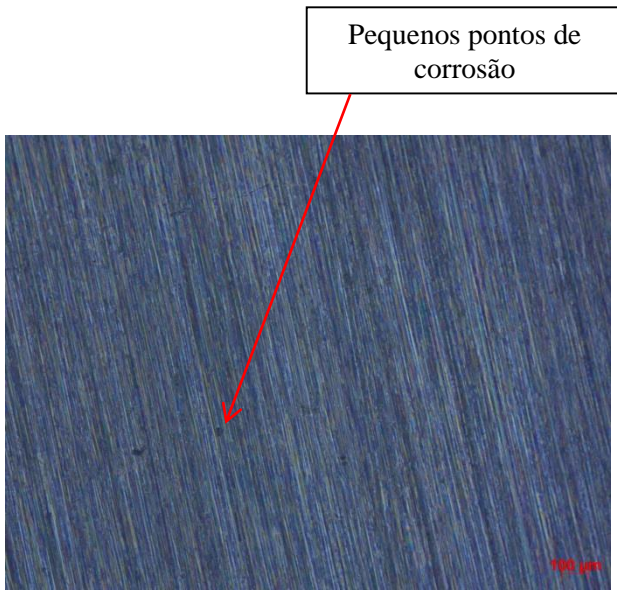
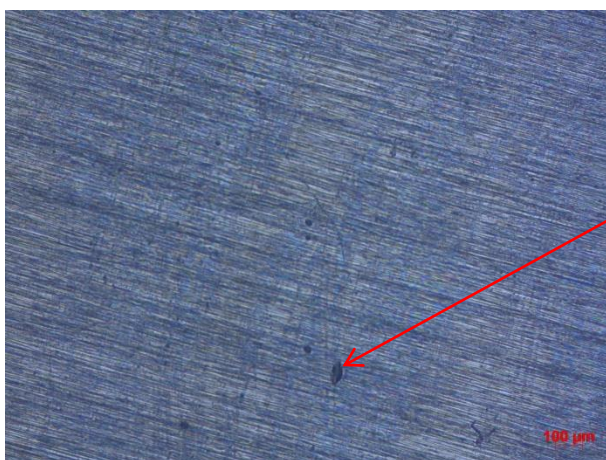


Figura 42. Amostra de inox 316 imersa – não soldada com ampliação de 50 X.



Figura 41. Amostra de inox 316 imersa – região da solda com ampliação de 50 X.



Porosidade proveniente da soldagem

Figura 40. Amostra de inox 316 imersa – região próxima a ZTA com ampliação de 50 X.

4.3.2.3. Aço Inoxidável 321

Sobre a observação das imagens do aço inoxidável 321 imerso em diesel, destaca-se o aparecimento de pontos de corrosão na superfície da amostra da chapa não soldada submetida ao processo de imersão, figura 43, e revela também o não aparecimento dos pontos escuros na região do cordão de solda como está ilustrado na figura 42. Ainda levando em consideração as imagens de microscopia da chapa de inox 321 soldada, dando destaque à região próxima a ZTA, pode ser visto uma redução na dimensão dos pontos escuros, ao qual sugere uma pequena diminuição da área de ataque da corrosão como mostra a figura 46.



Figura 46. Amostra de inox 321 não imersa com ampliação de 50 X.



Figura 45. Amostra de inox 321 não imersa – região da solda com ampliação de 50 X.

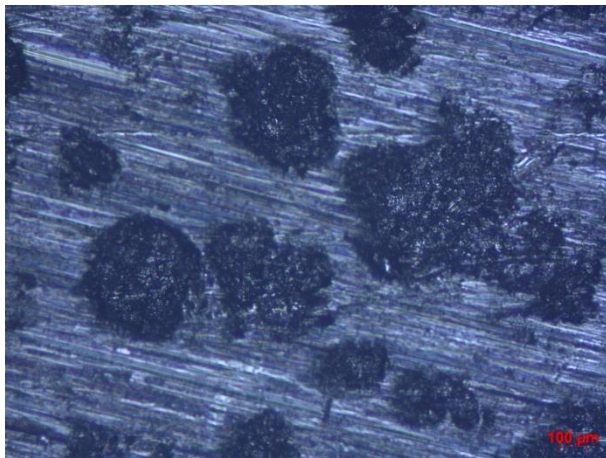


Figura 44. Amostra de inox 321 imersa não soldada com ampliação de 50 X.

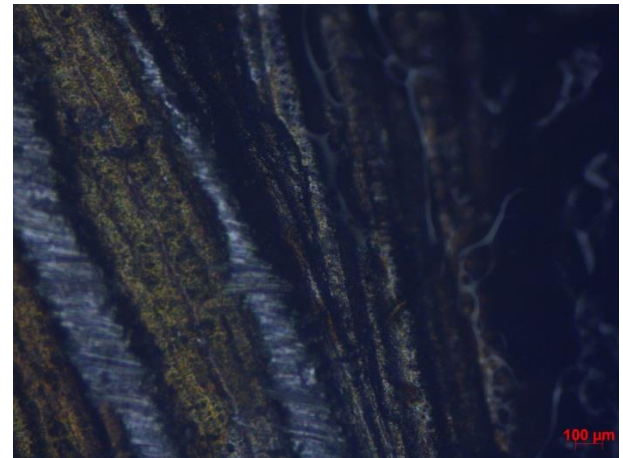


Figura 43. Amostra de inox 321 imersa região da solda com ampliação de 50 X.

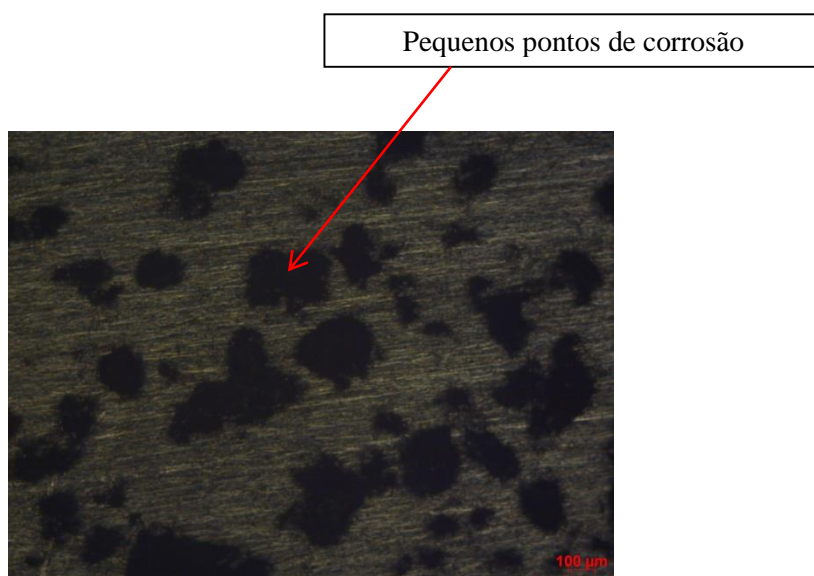


Figura 47. Amostra de inox 321 imersa – região próxima a ZTA com ampliação de 50 X.

5. Conclusões

Dentre os resultados encontrados com os ensaios é possível analisar que praticamente todos os materiais apresentaram níveis de corrosividade baixo, com exceção do aço inox 321 não soldado imerso em diesel que apresentou nível de corrosão moderado segundo a Norma NACE-RP-07-75. Através dessa classificação, pôde se confirmar as expectativas iniciais que levaram em consideração à resistência a degradação dos materiais inoxidáveis.

Com relação às taxas de corrosão obtidas, o apêndice 6 (seis) demonstra os níveis de corrosão classificada de acordo com o inoxidável que mais sofreu os efeitos da corrosão para o material que menos sofreu degradação.

Determinou-se que o aço inoxidável 321 não soldado obteve nos dois meios, tanto na água do mar quanto no diesel, as maiores taxas de corrosão e em contrapartida os inoxidáveis 316 soldado e 321 soldado imersos em água do mar obtiveram as menores taxas de corrosão.

Em análise aos meios corrosivos, a água do mar se mostrou mais agressiva para aços inoxidáveis 304 e 316 em comparação ao diesel. Isso se mostra coerente quando se compara o tempo de repouso das amostras em água salina ao tempo de repouso das amostras em diesel, as peças em água salina tiveram aproximadamente 58% do tempo de imersão em relação ao tempo de total de imersão das peças em diesel. Apesar do menor tempo de exposição em água do mar, as chapas de inox 304 soldado e não soldado, inox 316 soldado e não soldado apontaram números maiores na taxa de corrosão, em coerência com as imagens de microscopia realizadas que apontaram uma maior área de ataque dos pontos de corrosão. Em

contra partida, o inox 321 soldado e o 321 não soldado, ambos imersos em Diesel, obtiveram números da taxa de corrosão superior comparado às amostras submetidas em água do mar.

Foram observados também alguns efeitos sobre o processo de soldagem das chapas, entre elas a diminuição da resistência à corrosão próxima ao cordão de solda no aço inoxidável 304 imerso em água do mar. Para todos os outros materiais, as análises feitas próximas aos cordões de solda apontaram uma melhora na resistência à corrosão ou no mínimo o manutenção da condição de resistência anterior ao processo de soldagem como observado no inoxidável 304 submetido ao diesel. Possível causa para o efeito encontrado é o aumento na região da soldagem do Níquel equivalente e Cromo equivalente oriundos do metal de adição que estão demonstrados nos apêndices de 3 a 5.

Ainda comparando as condições das taxas de corrosão para os materiais soldados e não soldados o destaque é para o aço inoxidável 321 soldado comparado ao inoxidável 321 não soldado imerso em água do mar, sendo que o primeiro teve uma redução na taxa de corrosão na ordem de 70% coerente com a imagem comparativa de microscopia realizada em que se observa uma diminuição nos pontos de corrosão.

6. Bibliografia

ACELORMITTAL, **Aços Inoxidáveis: aplicações e especificações**. Disponível em: <<http://grupohumma.com.br/web/biblioteca/literatura/aplicacaoespecificacao.pdf>>. Acesso em 23.nov.2016.

CALLISTER, Jr. Willian D. **Ciência e engenharia de materiais uma introdução**. 7ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

CHIAVERINI, Vicente. **Tratamento térmico das ligas metálicas**. 1ª ed. São Paulo: ABM, 2008.

COLPAERT, Hubertos. **Metalografia dos produtos siderúrgicos comuns**. 4ª ed. São Paulo: Blucher, 2008.

GENTIL, V. **Corrosão**. 5º edição. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007. 353p.

INFOSOLDA. **Soldabilidade dos aços inoxidáveis**. Disponível em <http://www.infosolda.com.br/biblioteca-digital/livros-senai/metalurgia/135-soldabilidade-dos-acos-inoxidaveis.html>. Acesso em: 22 mar. 2018.

JAMBO H. C. M.; FÓFANO S. **Corrosão: Fundamentos, Monitoração e Controle**. Edição revisada. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2009. 342p.

MODENESI P. J.; MARQUES P.V. **Soldagem I: Introdução aos processos de soldagem**. Belo Horizonte: UFMG/DEM, 2006. 54 p. Apostila.

MORELLATO, F. **Grupo Humma: Decapagem & Passivação de Aço Inoxidável**. Disponível em https://www.grupohumma.com.br/biblioteca/Decap_Passiv.pdf. Acesso em: 08 out. 2017.

PADILHA, Angelo Fernando. **Aços inoxidáveis austeníticos: microestrutura e propriedades**. São Paulo: Hemus, 1994.

PADILHA, Angelo Fernando. **Materiais de Engenharia: microestrutura e propriedades**. São Paulo: Hemus, 1997.

RIBEIRO, Daniel Vêras *et al.* Métodos de proteção e aumento da durabilidade do concreto armado. In:_____. **Corrosão em estruturas de concreto armado: Teoria, Controle e Métodos de Análise.** São Paulo: Campus, 2014. p. 119-164.

SANTOS, R.M.I.S. **Estudo de Tratamento de Superfície em Metais na Utilização de Biodiesel para Geradores de Energia.** 2013. 70 fls. Trabalho de Graduação (Graduação Processos Metalúrgicos) – Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba, 2013.

TANAKA, Deniol K. *et al.* **Corrosão e Proteção contra corrosão dos metais.** São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1983. 296 p.

WAINER, Emílio *et al.* **Soldagem processos e metalurgia.** 7º reimpressão – 2010, páginas 01 - 57. São Paulo: Editora Edgard Blücher LTDA, 1992.

7. Apêndices

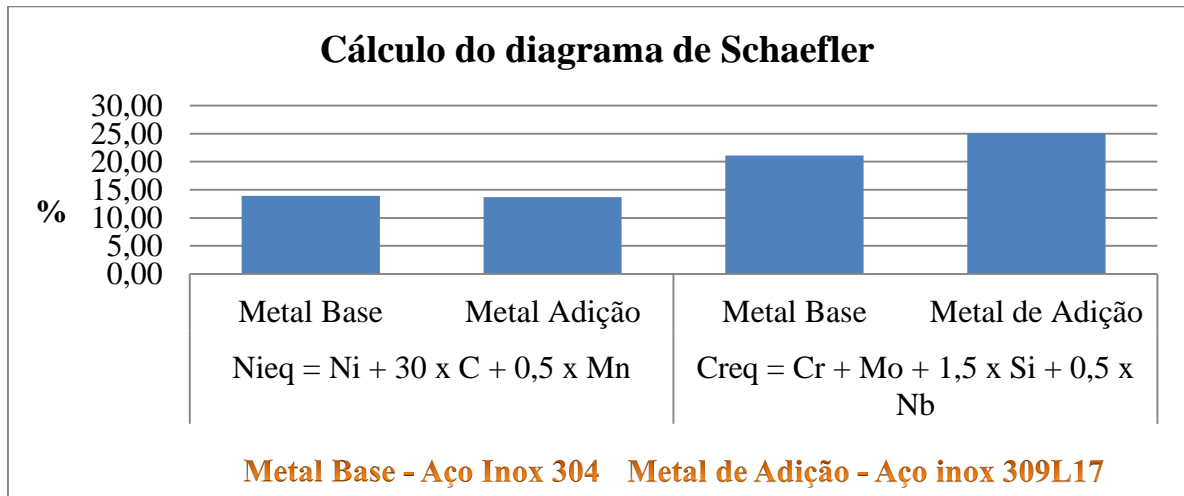
Apêndice 1. Taxa de Corrosão das Amostras em água do mar

Taxa de Corrosão em Água do Mar após 147 dias		
Tipo de Material	Taxa de Corrosão (mm/ano)	Desvio Padrão (+/-)
Amostras de Aço Inoxidável 304 não soldado	0,0127	0,0011
Amostras de Aço Inoxidável 304 soldado	0,0182	0,0061
Amostras de Aço Inoxidável 316 não soldado	0,0142	0,0039
Amostras de Aço Inoxidável 316 soldado	0,0069	0,0011
Amostras de Aço Inoxidável 321 não soldado	0,0239	0,0112
Amostras de Aço Inoxidável 321 soldado	0,0083	0,0050

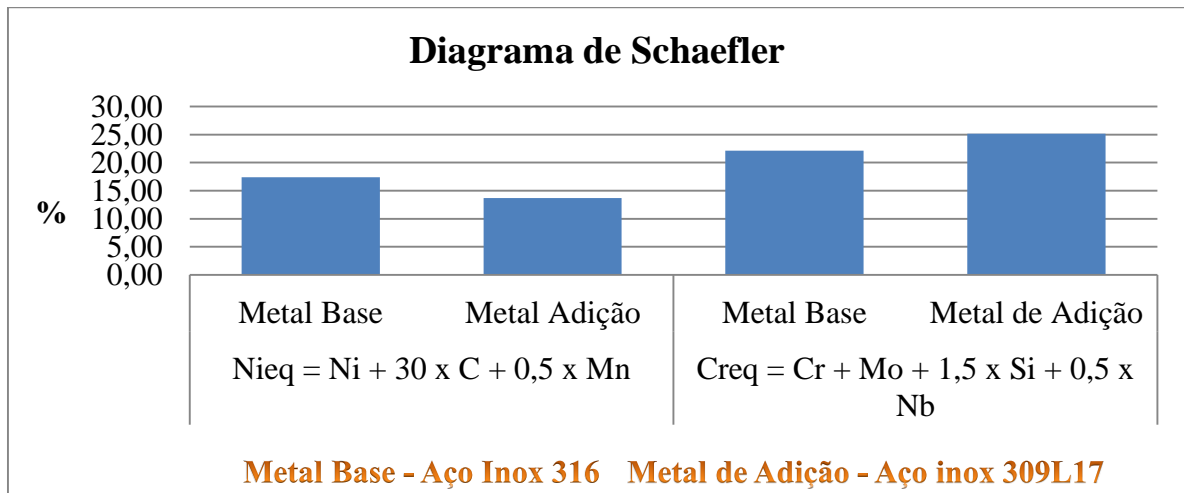
Apêndice 2. Taxa de Corrosão das Amostras em Diesel

Taxa de Corrosão em Diesel após 252 dias		
Tipo de Material	Taxa de Corrosão (mm/ano)	Desvio Padrão (+/-)
Amostras de Aço Inoxidável 304 não soldado	0,0088	0,0050
Amostras de Aço Inoxidável 304 soldado	0,0088	0,0057
Amostras de Aço Inoxidável 316 não soldado	0,0158	0,0036
Amostras de Aço Inoxidável 316 soldado	0,0133	0,0069
Amostras de Aço Inoxidável 321 não soldado	0,0284	0,0047
Amostras de Aço Inoxidável 321 soldado	0,0229	0,0133

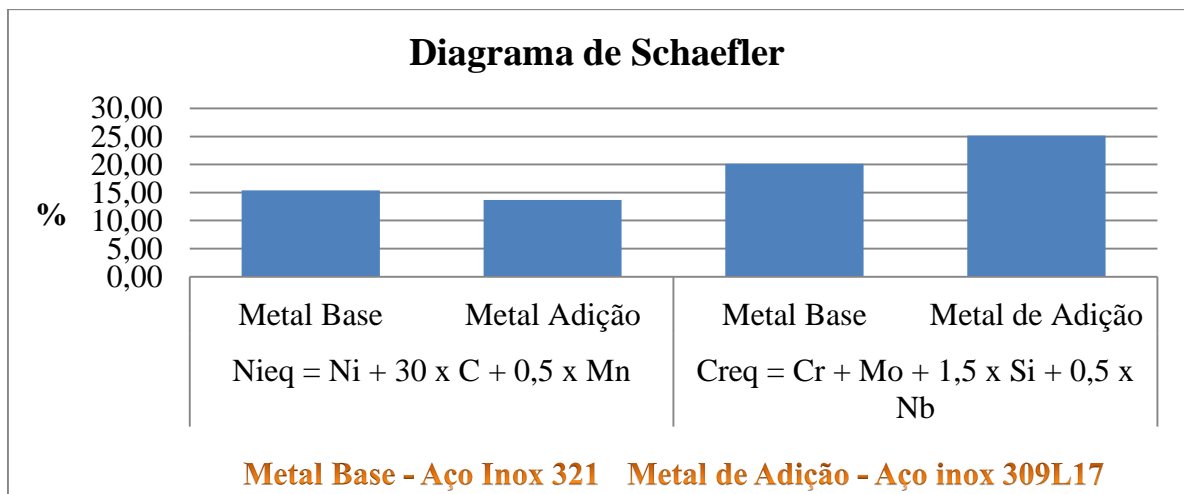
Apêndice 3. Cálculo Diagrama de Schaeffer – Metal base Inox 304 / Metal adição inox 309



Apêndice 4. Cálculo Diagrama de Schaeffer – Metal base Inox 316 / Metal adição inox 309



Apêndice 5. Cálculo Diagrama de Schaeffer – Metal base Inox 321 / Metal adição inox 309



Apêndice 6. Tabela de Resultados Obtidos sobre as Taxas de Corrosão

Tabela de Resultados - Taxa de Corrosão Obtidos			
Ordem	Taxa de Corrosão (mm/ano)	Tipo de Material	Meio Corrosivo
1°	0,0284	Amostras de Aço Inoxidável 321 não soldado	Diesel
2°	0,0239	Amostras de Aço Inoxidável 321 não soldado	Água do Mar
3°	0,0229	Amostras de Aço Inoxidável 321 soldado	Diesel
4°	0,0182	Amostras de Aço Inoxidável 304 soldado	Água do Mar
5°	0,0158	Amostras de Aço Inoxidável 316 não soldado	Diesel
6°	0,0142	Amostras de Aço Inoxidável 316 não soldado	Água do Mar
7°	0,0133	Amostras de Aço Inoxidável 316 soldado	Diesel
8°	0,0127	Amostras de Aço Inoxidável 304 não soldado	Água do Mar
9°	0,0088	Amostras de Aço Inoxidável 304 soldado	Diesel
10°	0,0088	Amostras de Aço Inoxidável 304 não soldado	Diesel
11°	0,0083	Amostras de Aço Inoxidável 321 soldado	Água do Mar
12°	0,0069	Amostras de Aço Inoxidável 316 soldado	Água do Mar