

Rodrigo Franco Borges

**Estudo da soldabilidade do aço ASTM A131 grau AH36
com a face externa submersa em água a baixas
temperaturas aplicando o processo de eletrodo revestido
sem preaquecimento**

Rodrigo Franco Borges

**Estudo da soldabilidade do aço ASTM A131 grau AH36
com a face externa submersa em água a baixas
temperaturas aplicando o processo de eletrodo revestido
sem preaquecimento**

Projeto de graduação apresentado
ao Curso de Engenharia Mecânica, da
Universidade Federal do Rio de Janeiro
Campus - Macaé, como parte dos requisitos
necessários à obtenção do título de
Engenheiro.

Universidade Federal do Rio de Janeiro – *Campus*

Macaé

Engenharia Mecânica

Trabalho de Conclusão de Curso

Orientador: Prof. D.Sc. Rudineli Demarque

Rodrigo Franco Borges

**Estudo da soldabilidade do aço ASTM A131 grau AH36
com a face externa submersa em água a baixas
temperaturas aplicando o processo de eletrodo revestido
sem preaquecimento**

Projeto de graduação apresentado
ao Curso de Engenharia Mecânica, da
Universidade Federal do Rio de Janeiro
Campus - Macaé, como parte dos requisitos
necessários à obtenção do título de
Engenheiro.

Prof. D.Sc. Rudineli Demarque

Prof. D.Sc. Marcelo Costa Cardoso

Prof. M.Sc. Mauricio Oliveira

Agradecimentos

Aos meus pais, Eliana Alves Franco e Antonio Marccus Borges, pelo amor, incentivo e apoio incondicional.

A minha família, em especial aos meus irmãos Renato Franco Borges, Rogério Franco Borges e a minha companheira Mariani Macedo, por todos os conselhos e carinho.

Ao meu orientador, Professor Dr. Rudineli Demarque, pelo suporte no desenvolvimento deste trabalho.

Aos responsáveis pela Plimsoll Engineering & Fabrication, em especial ao gerente Denio Dias, pela participação e financiamento na elaboração da pesquisa.

A todos os meus amigos e aos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu mais sincero muito obrigado.

RESUMO

Os elevados custos decorrentes da ação da corrosão nas embarcações atrelados aos possíveis riscos a vida humana no mar são fatores que evidenciam a importância das ações corretivas nas estruturas flutuantes. O aço ASTM A131 grau AH36 é vastamente utilizado na indústria naval devido às suas boas características de resistência mecânica, entretanto pode ter suas características afetadas após a soldagem em determinada região, principalmente quando sua superfície externa permanece em contato constante com a água do mar em temperaturas relativamente baixas. Para controlar os possíveis danos no material, o processo de preaquecimento uniforme da área a ser soldada é uma boa prática presente no setor de construção e reparo. O presente estudo analisou a soldabilidade do aço em questão utilizando o processo de soldagem por eletrodo revestido em diversas condições que simularam as falhas ocasionadas pela corrosão, a temperatura da água e as geometrias dos defeitos, porém sem aplicação de preaquecimento. Após a conclusão dos reparos e dos ensaios não destrutivos as amostras foram preparadas e enviadas para o laboratório onde, por fim, os testes destrutivos foram efetuados. Não houve perda das propriedades mecânicas nas amostras soldadas pelo procedimento convencional com o passe reto, assim como nos corpos de prova de baixa profundidade do pite, mesmo utilizando-se o passe circular de solda. Nas regiões onde os defeitos eram profundos e o passe foi circular, as propriedades mecânicas foram significativamente afetadas, evidenciando a necessidade do passe reto em quaisquer circunstâncias, mesmo que seja necessário conformar a anomalia antes da fusão dos materiais.

Palavras-chave: Soldabilidade, soldagem por eletrodo revestido, ASTM A131, AH36, pite, preaquecimento.

ABSTRACT

The high costs arising from the action of corrosion on the vessels linked to the apparent risks to human life on the sea are the factors which evidence the importance of correction actions on the metal structures. The ASTM A131 grade AH36 steel is vastly used in the naval industry due to its good characteristics of mechanical resistance, however it can change after the welding process in some region, especially when your external surface keeps in constant touch with the sea water in low temperatures. To control the eventual damages on the material, the uniform preheating process of the area to be welded is a good practice present in the building and repair business. The present study analyzed the weldability of the steel in question using the SMAW process in several conditions simulating the fails caused by the corrosion, the sea water temperature and the geometry of the defects, however without preheating application. After completion of the repairs and non-destructive tests, the samples were prepared and sent to the laboratory where, finally, the destructive tests were carried out. There was no loss of mechanical properties of the samples welded using straight pass, as well as in the specimens with low pitting thickness, even using the circular pass of welding. In the regions where the defects were deep and the pass was circular, the mechanical properties were significantly affected, evidencing the necessity of applying the straight pass in any circumstances even when conforming the anomaly before of the materials union is necessary.

Key words: Weldability. SMAW., ASTM A131, AH36, pitting, preheating.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - FPSO Cidade de Angra dos Reis MV 22.....	16
Figura 2 - Modelo de um FPSO.	19
Figura 3 - Sociedades classificadoras.....	21
Figura 4 - Exemplo de corrosão em chapa de aço naval..	22
Figura 5 - Formas de corrosão.....	23
Figura 6 - Configurações da corrosão por Pites..	24
Figura 7 - Corrosão por pite em chapa AH 36 no fundo de um FPSO.....	24
Figura 8 - Componentes principais da soldagem por fusão.....	25
Figura 9 - Solda com eletrodo revestido.....	26
Figura 10 - Soldagem MIG/MAG..	26
Figura 11 - Soldagem TIG.....	27
Figura 12 - Soldagem ao arco submerso.	28
Figura 13 - Tipos de juntas soldadas..	29
Figura 14 - Tipos de chanfro..	30
Figura 15 - Defeitos de soldagem.....	31
Figura 16 - Cordão de solda pronto para inspeção visual.....	33
Figura 17 - Ensaio por líquido penetrante.	33
Figura 18 - Inspeção por PM..	34
Figura 19 - Inspeção por Ultrassom.	35
Figura 20 - Microestrutura do ASTM A131 grau AH36.....	38
Figura 21 – Macroestrutura..	39
Figura 22 - Formas de uma carga ser aplicada em um corpo.....	40
Figura 23 - Diagrama de tensão-deformação	41
Figura 24 - Ensaio Charpy.....	45
Figura 25 - Ensaio de Tração.....	46
Figura 26 - Corpo de prova com face oposta submersa.	47
Figura 27 - Broca penetrando corpo de prova (simulação de pite)..	49
Figura 28 - Corpo de prova 1 (depressões irregulares).	49
Figura 29 - Corpo de prova 2 (depressões regulares).....	50
Figura 30 - Corpo de prova 3 (depressões regulares).....	50
Figura 31 - Corpo de prova 4 (depressão irregular e regular).	50

Figura 32 - Passes de solda reto x circular..	51
Figura 33 - Visual de solda em peça finalizada - Peça #01	52
Figura 34 - Ensaio de LP em peça finalizada - Peça #03.	53
Figura 35 - Ensaio por PM em peça finalizada - Peça #02.....	53
Figura 36 - Ultrassom em peça finalizada - Peça #0	53
Figura 37 - Modelo de Usinagem dos Corpos de Prova - peça #01	54
Figura 38 - Modelo de Usinagem dos Corpos de Prova - peça #02	54
Figura 39 - Modelo de Usinagem dos Corpos de Prova - peça #03	55
Figura 40 - Modelo de Usinagem dos Corpos de Prova - peça #04	55
Figura 41 - Diagrama Tensão x Deformação - Tração Retangular.	58
Figura 42 - Diagrama Tensão x Deformação - Tração Cilíndrico.....	59
Figura 43 - Comportamento mecânico por CP – Tração retangular	61
Figura 44 - Alongamento por corpo de prova	61
Figura 45 - Comportamento mecânico por CP – Tração Cilíndrico.	62
Figura 46 - Alongamento por corpo de prova	62
Figura 47 - Energia absorvida por corpo de prova	63
Figura 48 - Quilha após fabricação.....	66
Figura 49 - Macrografia do cordão de solda.	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Especificações mínimas da AWS para temperaturas de preaquecimento.....	36
Tabela 2 - Níveis estruturais.....	37
Tabela 3 - Requisitos para a composição química dos aços com baixa resistência - máximo ou intervalo.....	43
Tabela 4 - Requisitos para a composição química dos aços com alta resistência - máximo ou intervalo.....	43
Tabela 5 - Requisitos mínimos de Tração aços de baixa e alta resistência..	44
Tabela 6 - Requisitos mínimos de absorção de energia para o AH 36.....	44
Tabela 7 - Propriedades mecânicas dos elementos primários	48
Tabela 8 - Profundidade dos pites em milímetros	51
Tabela 9 - Tipos de passe por pite	52
Tabela 10 - Dimensões e quantidade de corpos de prova.....	55
Tabela 11 - Dados numéricos - Tração Retangular..	57
Tabela 12 - Dados numéricos - Tração Cilíndrico	58
Tabela 13 - Resultados numéricos - Teste de Impacto Charpy.....	60
Tabela 14 - Comparativo geral dos ensaios.....	64

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
AWS	<i>American Welding Society</i>
CP	Corpo de Prova
CQS	Certificado de Qualificação do Soldador
DTCPM	Divisão Técnica de Corrosão e Proteção de Materiais
END	Ensaio Não Destrutivo
EPS	Especificação de Procedimento de Soldagem
FPSO	<i>Floating Production Storage and Offloading</i>
GMAW	<i>Gas-shielded Metal Arc Welding</i>
GTAW	<i>Gas-shielded Tungsten Arc Welding</i>
IACS	<i>International Association of Compliance Society</i>
IMO	<i>International Maritime Organization</i>
J	Joules
LP	Líquido Penetrante
MA	Metal de Adição
MAG	<i>Metal Active Gas</i>
MARPOL	<i>Maritime Pollution</i>
MB	Metal Base
ME	Medição de Espessura
MIG	<i>Metal Inert Gas</i>
mm	milímetros
MPA	Mega Pascal
N	Newton
PM	Partícula Magnética
RQPS	Registro de Qualificação de Procedimento de Soldagem
SAW	<i>Submerged Arc Welding</i>
SMAW	<i>Shielded Metal Arc Welding</i>
SOLAS	<i>Safety of Life at Sea</i>
Tc	Temperatura Crítica estabelecida
Tf	Temperatura de Fusão

TIG	Tungsten Inert Gas
Tp	Temperatura máxima atingida pelo Ponto
UT	Ultrassom
ZF	Zona Fundida
ZTA	Zona Termicamente Afetada

LISTA DE SÍMBOLOS

E	Modulo de elasticidade
ε	Deformação
σ	Tensão
σ_e	Limite de Escoamento
σ_{LR}	Limite de Resistência

Sumário

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 Contextualização do tema.....	15
1.2 Motivação	16
1.3 Objetivos	17
1.4 Estrutura do trabalho	18
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	19
2.1 FPSO.....	19
2.2 Organizações e convenções marítimas	20
2.2.1 Objetivos das sociedades classificadoras	20
2.3 Corrosão	21
2.3.1 Formas de corrosão	22
2.3.2 Corrosão por pites em estruturas navais.....	23
2.4 Soldagem	24
2.4.1 Comparação com outros processos de fabricação	28
2.4.2 Juntas de Solda	29
2.4.3 Tipos de Chanfro	29
2.4.4 Defeitos de Soldagem.....	30
2.4.5 Especificação de Procedimento de Soldagem (EPS).....	31
2.4.6 Ensaio não destrutivo (END)	32
2.4.7 Soldabilidade.....	35
2.4.8 Influência das normas para a soldagem	35
2.5 Estrutura e propriedade dos materiais	37
2.5.1 Níveis estruturais	37
2.5.2 Microestrutura.....	38

2.5.3 Macroestrutura	38
2.5.4 Tensão x Deformação	39
2.5.5 Propriedades mecânicas dos materiais	41
2.6 Características do ASTM A 131	42
2.7 Ensaio Destrutivos	44
2.7.1 Ensaio de Impacto Charpy	44
2.7.2 Ensaio de Tração	45
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	47
3.1 Cenário experimental.....	47
3.2 Materiais.....	48
3.3 Simulação dos pites nos corpos de prova	48
3.4 Processo de Soldagem	51
3.5 Ensaio Destrutivos	54
4 ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	57
4.1 Ensaio não destrutivos.....	57
4.2 Ensaio Destrutivos	57
4.2.1 Comparações dos resultados	60
4.3 Consequências dos métodos aplicados	64
4.4 Trabalhos com objetivos similares	65
4.4.1 ASTM A131 grau AH 32.....	65
4.4.2 Ferro fundido Cinzento.....	66
4.4.3 Comparação entre os trabalhos	67
5 CONCLUSÃO	68
6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	69
REFERÊNCIAS	70

APÊNDICE A – Certificado do Eletrodo.....	73
APÊNDICE B – Certificado da chapa que os CP's foram extraídos	74
APÊNDICE C – EPS qualificada	75
APÊNDICE D – Acompanhamento de soldagem	78
APÊNDICE E – Ensaios não destrutivos	82
APÊNDICE F – Ensaios destrutivos	89

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização do tema

A reestruturação vivenciada pela indústria naval brasileira atrai muitos olhares para um setor pouco evidente, caracterizado por especialistas em ações de prevenção e correção da corrosão que é um processo espontâneo normalmente decorrente de uma ação química e por associação de esforços mecânicos. Dessa maneira, torna-se evidente que assegurar excelentes condições estruturais por grandes períodos é um grande desafio, principalmente no ramo offshore que é responsável pela fabricação de embarcações de grandes dimensões que são expostas à água do mar, meio que possui uma alta ação destrutiva em aços.

Segundo a Divisão Técnica de Corrosão e Proteção de Materiais (DTCPM), a corrosão é responsável por um expressivo dano econômico, ambiental e de segurança na sociedade, que pode ser mensurado através da análise dos seus custos diretos e indiretos. Os custos diretos são os custos atribuídos aos proprietários ou operadores das estruturas, fabricantes de produtos e fornecedores de serviços, relacionados com:

- incremento nas espessuras e escolhas de materiais de maior resistência;
- utilização de revestimentos, inibidores de corrosão, anodos;
- limpeza, inspeção e reparo (manutenção em geral);
- perdas de produtividade.

Os custos indiretos não relacionados aos donos ou operadores e frequentemente não observados são:

- danos ao ambiente;
- a preservação de monumentos;
- a segurança das pessoas e bens;
- a saúde pública;
- sustentabilidade dos recursos naturais.

Um estudo encomendado pelo Congresso Americano, realizado de 1999 a 2001 nos Estados Unidos da América, estimou que os custos diretos da corrosão são 3,1% do Produto interno bruto (PIB) americano. (DTCPM).

Outra pesquisa estimou em 4% a perda do PIB do Brasil, o equivalente a R\$ 236 bilhões em 2015, conforme aferiu a entidade International Zinc Association (IZA), com apoio da Universidade de São Paulo (USP). (Portal Fator Brasil, 2016).

Em decorrência do cenário mencionado, aumenta-se a necessidade de as empresas do ramo da indústria naval criarem um sistema organizacional de manutenção efetivo para lidar com os possíveis danos em suas estruturas de casco. Em paralelo, surgem oportunidades para as empresas especializadas em reparos navais atuarem na manutenção corretiva fornecendo conhecimento e mão de obras necessários. A Figura 1 é um exemplo de “Floating Production Storage and Offloading” (FPSO) vista de cima pelo lado de bombordo.



Figura 1 - FPSO Cidade de Angra dos Reis MV 22. (MODEC).

1.2 Motivação

Atualmente observa-se uma demanda expressiva de reparos de preenchimento com solda em chapas de “American Society for testing and materials” (ASTM) A131 grau AH36 afetadas pela corrosão na parte interna do casco de navios. Muitas vezes os reparos são realizados abaixo da lâmina d’água com a face externa da chapa de aço que constitui o casco

em contato com a água do mar que se encontra em temperaturas que podem variar de 17°C a 29 °C na costa brasileira. (APOLO 11).

Para a qualidade do processo de reparo ser efetiva, uma série de procedimentos e qualificações são necessárias e estão especificadas em normas e recomendações como a American Welding Society (AWS) e International Association of Classification Societies (IACS), porém algumas boas práticas extras também são recomendadas por especialistas do ramo para garantir uma boa soldabilidade e manter a integridade da estrutura.

Dentre as boas práticas uma muito comum é a do preaquecimento, acima do mínimo recomendado pelas normas, da chapa ao redor da área que receberá o material de adição para minimizar os possíveis defeitos durante o reparo. Entretanto, muitas vezes a quantidade de pontos a serem reparados é significativamente grande, como nos casos de pites no fundo de embarcações, fazendo com que o preaquecimento consuma tempo durante a execução, gerando custos e exposição dos trabalhadores ao risco.

Portanto, foram realizados alguns testes de soldagem em chapas de ASTM A131 grau AH 36 com diferentes espessuras em ambiente controlado para analisar se a falta de preaquecimento e a geometria da deformação ocasionam a perda de propriedades mecânicas do aço estudado.

1.3 Objetivos

O objetivo do estudo é simular, em ambiente controlado, o reparo de chapas de ASTM A131 grau AH36 em contato com a água, similar ao que ocorre no fundo das FPSO's e assim realizar as análises mecânicas referentes ao do material em questão. Para elaborar as análises os seguintes objetivos são propostos:

- Analisar os resultados dos ensaios não destrutivos;
- Discutir se a falta de preaquecimento antes da soldagem afeta a soldabilidade do aço naval em questão;
- Explicar a relevância dos tipos de passe de solda aplicados nas diferentes geometrias das anomalias assim como a influências nas propriedades mecânicas;
- Analisar a influência da baixa espessura das anomalias nas propriedades mecânicas do material.

1.4 Estrutura do trabalho

A partir do capítulo inicial, os tópicos deste trabalho encontram-se estruturados em mais cinco capítulos que são descritos abaixo:

- No Capítulo 2 é feita uma revisão da literatura que descreve os temas mais importantes para o entendimento do estudo que consiste em: conceitos específicos sobre estruturas flutuantes, corrosão, soldagem, estrutura dos materiais, aços ASTM A131 e ensaios mecânicos.
- No Capítulo 3 é abordado o cenário em que os testes foram processados, os materiais utilizados, metodologia da preparação dos corpos de prova, execução do processo e explicações sobre os ensaios realizados para análise da chapa preenchida com solda.
- No Capítulo 4 são apresentados os resultados, discussões a respeito dos testes realizados e comparações com trabalhos correspondentes ao tema.
- No Capítulo 5 é apresentada a conclusão do trabalho.
- No Capítulo 6 são apresentadas algumas sugestões para trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 FPSO

A exploração de petróleo e o crescimento das atividades que se ramificam da prática de extração, em águas cada vez mais profundas, desencadeou a demanda por novas estruturas organizacionais e métodos que facilitassem a pesquisa geológica, a perfuração de poços no fundo do mar e a exploração, e conseqüentemente o transporte do óleo da unidade de produção até os locais de distribuição. Então unidades começaram a ser fabricadas, com características convenientes de acordo com os parâmetros de cada local.

O FPSO é uma estrutura flutuante de exploração de petróleo que reúne numa única unidade as funções de produção, armazenamento e descarregamento para outros navios. O esqueleto pode ser originado de uma conversão baseada no aproveitamento de um navio antigo ou um navio inteiramente novo. (THOMAS, 2003).

As características descritas anteriormente fizeram com que os FPSO's ganhassem importância no mercado, mais baratos e mais viáveis (diversas etapas de exploração reunidas numa única unidade), podem ser reutilizados em outras bacias e possuem grande capacidade de armazenamento. Um modelo de FPSO está é representado na Figura 2.



Figura 2 - Modelo de um FPSO. (MEDEIROS, 2015).

2.2 Organizações e convenções marítimas

Por se tratarem de embarcações de alto custo de fabricação e manutenção, pelo vasto cenário econômico da indústria naval em que estão inseridas e acima de tudo representarem diversos riscos a vida humana, algumas organizações e convenções foram criadas para realizarem acompanhamentos periódicos nos equipamentos e estruturas com o objetivo principal de salvaguardar a vida humana no mar e operam também como seguradoras. Os principais órgãos e convenções podem ser descritos como:

- International Maritime Organization (IMO): é uma organização marítima internacional que atua diretamente na melhoria contínua da segurança das embarcações. Também atuam na legislação do tráfego marítimo e na prevenção da poluição marinha por embarcações. (FONSECA).
- Marine Pollution (MARPOL) 73/78: Pode ser definida como a convenção internacional para a Prevenção da Poluição por Navios. É a principal convenção internacional que atua na prevenção da poluição do meio marinho por causas operacionais ou acidentais. Foi criada em 1973 e alterada por um protocolo em 1978. (FONSECA).
- Safety of Life at Sea (SOLAS): É considerada a convenção internacional de maior expressividade quando se trata da segurança dos navios mercantes. A primeira versão foi criada em 1914, em decorrência do desastre do Titanic. (FONSECA).
- IACS: Associação sem vínculo com o governo que fornece suporte técnico para a IMO. É responsável pela elaboração de requisitos unificados, interpretações unificadas, procedimentos internos, regras comuns para petroleiros e graneleiros. Também fornecem procedimentos para treinamentos de qualificação e monitoração de vistoriadores e auditores. Atualmente existem mais de 50 Sociedades Classificadoras diferentes, porém apenas a minoria é associada a IACS. (FONSECA).

2.2.1 Objetivos das sociedades classificadoras

Dentre os principais objetivos da criação das classificadoras destacam-se salvaguardar a vida humana no mar, defender a propriedade e o meio ambiente marinho. São caracterizadas por possuírem arbitragem na sua tomada de decisões sem necessariamente obedecer às normas

e padrões. Em resumo usam como referência as mesmas regras básicas para casco e máquinas, porém se diferem nos requisitos adicionais de contrato.

São organizações que podem participar de várias etapas do projeto, da construção e da manutenção contínua das embarcações em operação. As principais vantagens de se classificar um navio são: reduzir os custos do seguro, atender aos itens de contrato, emitir certificados estatutários e ser mantido e operado de acordo com as regras, normas, diretrizes, melhorando a qualidade, eficiência e segurança da embarcação. (FONSECA). Na Figura 3 estão algumas das classificadoras.



Figura 3 - Sociedades classificadoras. (FONSECA).

2.3 Corrosão

A corrosão é um processo espontâneo decorrente da tendência natural dos metais retornarem para forma mais estável, geralmente óxidos, denominados minérios. No decorrer, uma quantidade de energia é acrescentada para extrair o metal contido na matéria prima, viabilizando o surgimento de forças capazes de convertê-lo para forma primitiva. O fenômeno pode ocorrer por ação química e por associação de esforços mecânicos. De maneira geral, é a transformação destrutiva de um material pela sua interação química ou eletroquímica com o meio exposto conforme representado na Figura 4. (GENTIL, 2003).

Os processos de corrosão eletroquímica são os mais aparentes na natureza e tem a característica básica de necessitar da presença de água no estado líquido para ocorrer, temperaturas abaixo do ponto de orvalho da água, sendo a grande maioria na temperatura ambiente e formação de uma pilha ou célula de corrosão, com a circulação de elétrons na superfície metálica. (ABRACO).



Figura 4 - Exemplo de corrosão em chapa de aço naval. (Autor).

2.3.1 Formas de corrosão

De acordo com a disposição visual define-se a aparência da superfície afetada e segundo a Associação Brasileira de Corrosão (ABRACO) as formas mais comuns são:

- Uniforme: ocorre quando a destruição do material se expande uniformemente em toda a área exposta ao meio corrosivo, é comum em casos em que o composto é solúvel no meio ou quando não existe a formação de produto de corrosão.
- Por placas: quando os produtos de corrosão se formam em placas que soltam progressivamente como se fossem escamas.
- Alveolar: o desgaste provocado pela ação química ocorre pontualmente, com o aspecto de crateras (bacias).
- Por pite: quando a perda de material se apresenta de forma muito localizada e de alta intensidade, geralmente com profundidade maior que o diâmetro e bordos angulosos.
- Intergranular: quando o ataque se manifesta no contorno dos grãos.

A Figura 5 demonstra as formas de corrosão descritas no texto de forma mais clara.

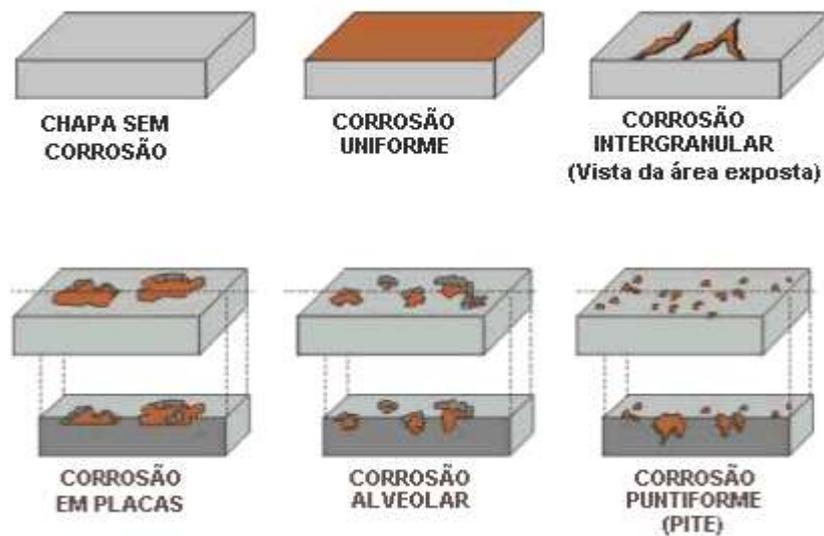


Figura 5 - Formas de corrosão. (ABRACO).

2.3.2 Corrosão por pites em estruturas navais

A corrosão por pites (Figura 6), previamente dita, se apresenta de forma bem localizada e muitas vezes pode ser decorrente de defeitos superficiais nas estruturas, como arranhões ou danos na camada protetora. Para um material livre de defeitos, a corrosão por pite é causada predominantemente pela química do ambiente em que se encontra.

Tratando-se de estruturas navais não é diferente, os pites surgem em grande escala devido ao severo meio em que o aço é exposto e são encontrados em diversos patamares da embarcação, inclusive em ambientes de difícil acesso como tanques de lastro, tanques de óleo e praça de máquinas que são ambientes que possuem parte do esqueleto abaixo da lâmina d'água, permanecendo em contato permanente com a água do mar.

O cuidado na manutenção deve ser uma preocupação constante para as empresas pois em caso de agravamento da situação o pite pode chegar a eliminar toda a espessura da chapa na região, furando a placa e assim permitindo a entrada de água na embarcação ou falhas estruturais mais graves.

Quando a profundidade da área de corrosão for grande o bastante ao ponto de a espessura da chapa não suportar o trabalho a quente na superfície interna ou não tiver mais espessura é necessário o auxílio de equipes de mergulho para realizarem o serviço pelo lado externo do casco, o que gera um alto custo e aumenta significativamente a complexidade e riscos associados a tarefa. Para facilitar o projeto, na maioria dos casos, o problema é

identificado na vistoria periódica da classe e o reparo é feito pelo lado interno do casco apenas com a superfície externa da chapa em contato com a água do mar (Figura 7).

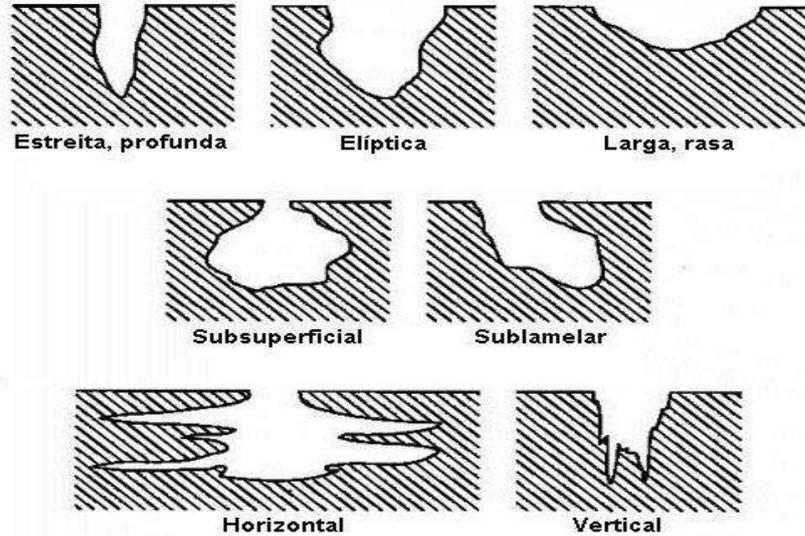


Figura 6 - Configurações da corrosão por Pites. (SCIENTIA).



Figura 7 - Corrosão por pite em chapa AH 36 no fundo de um FPSO. (Autor).

2.4 Soldagem

A soldagem pode ser um mecanismo de união ou recomposição permanente de materiais em que é efetuada a aplicação de calor e/ou força com ou sem material de adição (MA). Os métodos são separados por mecanismos de pressão (ou deformação) e processos por fusão. A

Figura 8 define os componentes principais da soldagem onde ocorre a utilização de calor na região de união até a fusão dos componentes.

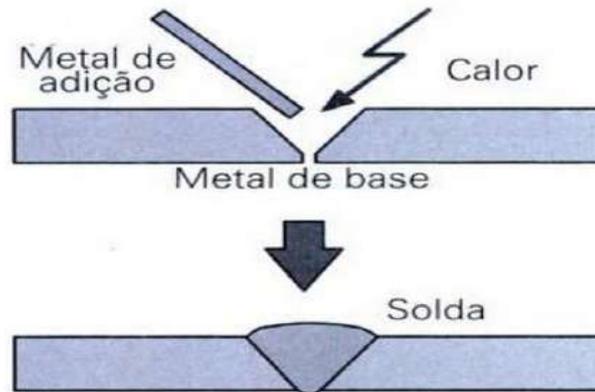


Figura 8 - Componentes principais da soldagem por fusão. (MODENESI; MARQUES, 2009)

Existem diversos métodos diferentes que podem ser usados para determinadas aplicações específicas, destacando-se os de maior utilização na indústria: eletrodo revestido (SMAW), MIG/MAG (GMAW), TIG (GTAW), arco-submerso (SAW), entre outros. Entre os grupos que se diferem de acordo com a fonte de energia usada para fundir as peças, o arco elétrico é um dos processos de maior importância industrial. Abaixo estão as principais características de cada método:

- SMAW: é um dos meios mais antigos, mais simples e mais versáteis. Consiste em utilizar os eletrodos revestidos que possuem uma proteção espessa chamada de revestimento que se transforma de forma parcial em gás de proteção e em escória, protegendo a peça da possível contaminação externa atmosférica e controlam o resfriamento do material, conforme a Figura 9 ilustra. As varetas mais usuais são as do tipo E60XX ou E70XX, onde o número indica a tensão de ruptura do eletrodo (60 ksi ou 70 ksi, respectivamente) e os X's indicam parâmetros como posição recomendada, revestimentos e composição química do metal sem diluição. (ESAB).

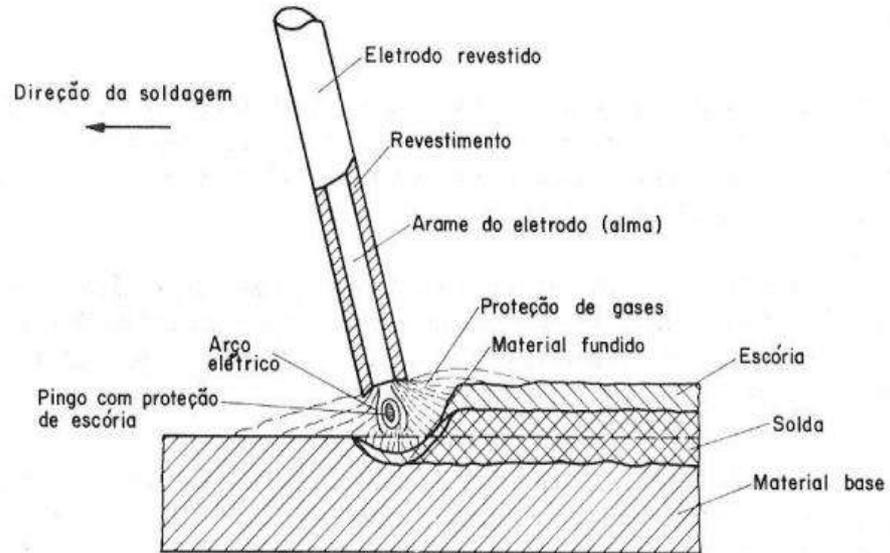


Figura 9 - Solda com eletrodo revestido. (ESTRUTURAS, 2015)

- GMAW: O procedimento com arco elétrico utilizando gás protetor também pode ser denominada de MIG/MAG e consiste em um arco elétrico sendo aplicado entre o metal base e o consumível na forma de arame, fundido o arame enquanto este é alimentado à poça de fusão. O local soldado permanece sem contato com a atmosfera devido ao fluxo de um gás (ou mistura de gases) inerte ou ativo conforme a Figura 10 representa. (ESAB).

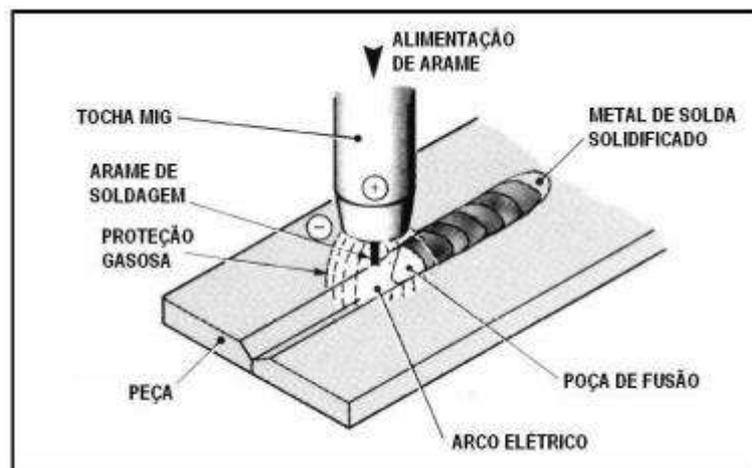


Figura 10 - Soldagem MIG/MAG. (ESAB).

- GTAW: um eletrodo sólido de tungstênio não consumível é utilizado e juntamente a um arco e a região ao redor da poça de fusão permanecem envolvidos por uma atmosfera de gás inerte que os protege, conforme a Figura 11, gerando um produto limpo e de alta qualidade. Como não há geração de escória, a chance de possíveis defeitos são baixas. Pode ser usado para quase todos os metais, sendo manual ou automatizado, e sua aplicação é constantemente observada em solda com alumínio e em ligas de aço inoxidável, que exigem alta qualidade final. (ESAB).

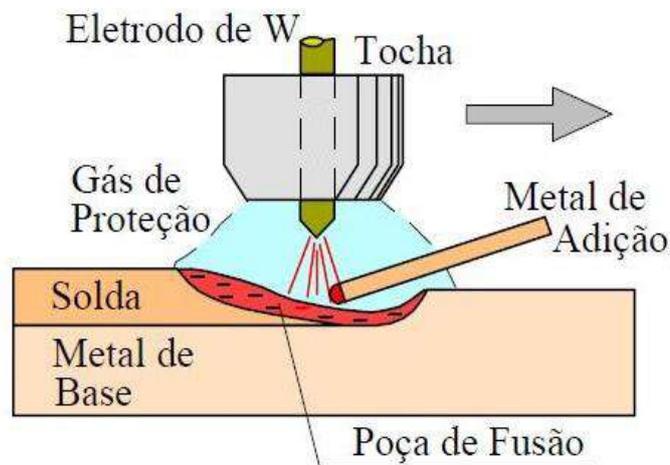


Figura 11 - Soldagem TIG. (INFOSOLDA, 2015)

- SAW: método em que o calor necessário para fusão é gerado por um arco formado pela corrente elétrica passando entre o arame e a peça de trabalho. A extremidade do consumível, o arco elétrico e metal base são protegidos por uma camada de um mineral granulado conhecido por fluxo para soldagem por arco submerso. Não há arco visível nem faíscas, respingos ou fumos. Devido à sua elevada taxa de deposição, é particularmente adequado para longas articulações retas de boa qualidade na posição plana e amplamente utilizado na fabricação de vasos de pressão, em plantas químicas, em estruturas pesadas, em reparação e na indústria de construção naval. (ESAB). A Figura 12 ilustra o método por SAW.

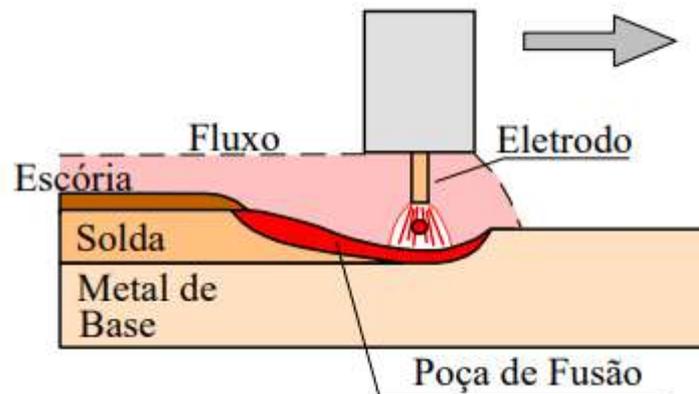


Figura 12 - Soldagem ao arco submerso. (MODENESI; MARQUES, 2000)

2.4.1 Comparação com outros processos de fabricação

A soldagem é o método de união entre partes metálicas de maior importância na atualidade. (MODENESI; MARQUES, 2009). Possui vantagens e desvantagens que podem ser comparadas com união de rebiteagem, parafusagem e fundição.

As vantagens podem ser apresentadas conforme descrito abaixo:

- na junção de placas metálicas com parafusos ou rebites ocorre a perda de secção devido a necessidade de perfuração.
- os orifícios para o selamento na rebiteagem e parafusagem podem gerar concentração da distribuição de tensões na área afetada.
- Sela a área em toda extensão realizada, eliminando vazamentos.

De acordo com as desvantagens citam-se:

- o fato de ser uma união definitiva não possibilita a desmontagem, como no caso da rebiteagem.
- os métodos, em geral, utilizam energia térmica ou mecânica no local da junta, o que pode ocasionar defeitos mecânicos (tensões residuais e distorções) e metalúrgicos (mudança na microestrutura e propriedades) na região da união.
- defeitos como falta de fusão, mordedura, falta de penetração, respingos entre outros.

2.4.2 Juntas de Solda

Conforme a posição relativa das peças classificamos os tipos de cinco formas básicas: Junta de Topo, "T", de Canto, Sobreposta e de Borda. Os tipos são apresentados na Figura 13 e são indicadas por uma letra de identificação, conforme a norma AWS D1.1 estabelece. As letras fazem referência as que estão presentes na AWS.

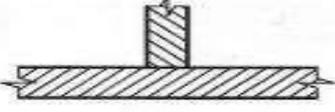
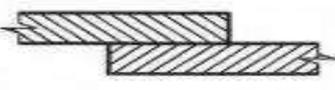
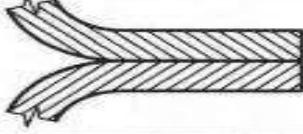
Tipo de Junta		
Topo (Butt Joint)		
"T" (Tee Joint)		
Canto (Corner Joint)		
Sobreposta (Lap Joint)		
Borda (Edge Joint)		

Figura 13 - Tipos de juntas soldadas. (ESTRUTURAS, 2015).

2.4.3 Tipos de Chanfro

Denominamos de chanfro a abertura entre as duas partes que formam a junta e que determina o espaço onde haverá a deposição de MA. É especificado com base no procedimento adotado, no metal, na espessura e dimensões da chapa, no acesso ao local de aplicação e outros

fatores que possam modificar o resultado. Pode-se analisar na Figura 14 as geometrias mais comuns.

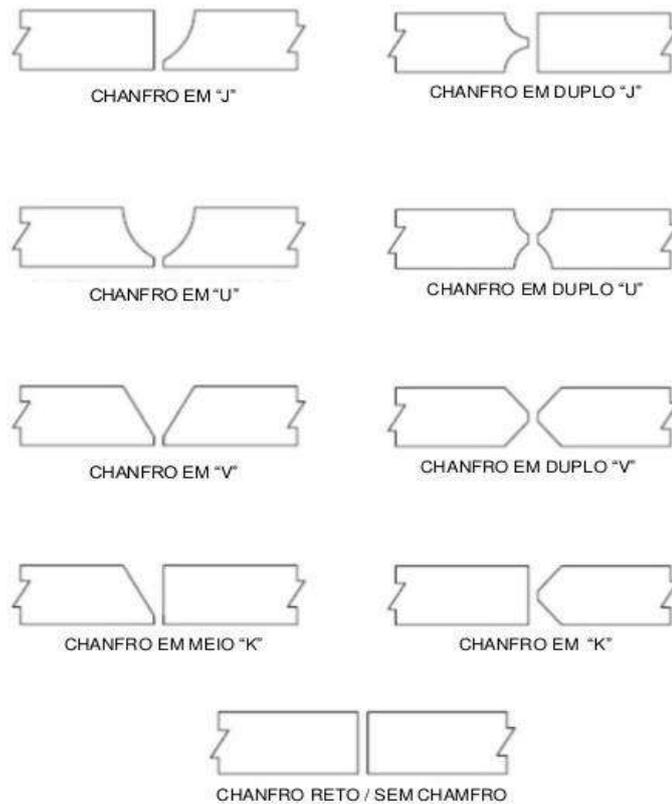


Figura 14 - Tipos de chanfro. (TRINDADE, 2015).

2.4.4 Defeitos de Soldagem

São todas as imperfeições que ocorrem durante o processo e que afetam as propriedades mecânicas aço. Alguns são superficiais e podem ser percebidos por inspeções visuais feitas por especialistas enquanto outras falhas podem ser identificadas apenas por testes que utilizam equipamentos e materiais específicos. Segundo Modenesi, dentre os defeitos (Figura 15) mais comuns na engenharia de campo, citam-se:

- **Falta de fusão:** é percebida quando existem pontos onde não há fusão entre o MA e a superfície do MB. Geralmente ocorre pela baixa entrada de calor, velocidade elevada, contaminação, angulação incorreta do eletrodo, entre outros.
- **Trincas:** existem três origens básicas, a primeira é a trinca a quente também conhecida por trinca de solidificação e acontece no centro da poça de fusão, a segunda é a de cratera

que surge no fim e a terceira é a trinca a frio que é um dos mais comuns podendo aparecer na superfície, na região aplicada e na área afetada termicamente. Em alguns casos aparece o término do trabalho (horas ou dias depois) e a temperatura do metal ter diminuído, ou seja, a temperatura do meio externo influencia consideravelmente.

- Falta de penetração: é comum quando um cordão de solda não preenche adequadamente o fundo do chanfro da junta e ocorre quando o ângulo é maior do que o necessário, as juntas estão incorretas, o chanfro é desalinhado, entre outros.
- Mordedura: estão presentes em caso do chanfro do MB se fundir próximo ao pé da solda, e uma região não é preenchida pelo MA. O uso da corrente e voltagem recomendadas são essenciais para evitar a falha, assim como o ângulo correto da tocha.
- Porosidade: decorre da contaminação do material, permitindo o aprisionamento de gases na superfície ou no interior do cordão solidificado. Geralmente surge devido a umidade no local, gás de proteção indevido, uso de arcos longos, entre outros.
- Inclusão de escória: ocorre com a criação da escória a partir do fluxo do núcleo de arame fundindo, assim aprisionando-se dentro da região. A falta de limpeza constante, velocidade alta e corrente baixa são alguns dos facilitadores.

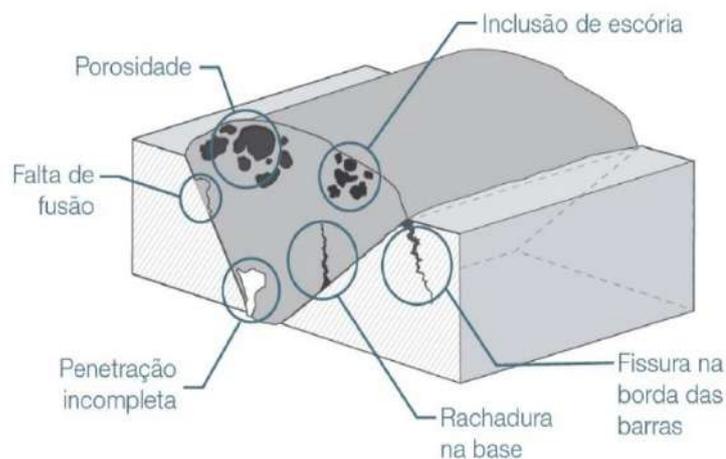


Figura 15 - Defeitos de soldagem. (OLYMPUS).

2.4.5 Especificação de Procedimento de Soldagem (EPS)

EPS é o documento formal que descreve os procedimentos adotados durante a soldagem fornecendo os parâmetros para o profissional responsável garantir a qualidade conforme os

requisitos da norma. O propósito do documento é guiar os soldadores para seguirem os parâmetros aceitos previamente. (CALDAS, 2013)

Normas específicas e associações de engenharia são frequentemente a sustentação do desenvolvimento nas empresas. São suportadas pelo Registro de Qualificação do Procedimento de Soldagem (RQPS) que contém o teste realizado de forma mais rigorosa com ensaios não destrutivos e destrutivos, o que garante a confiabilidade. Os executantes são certificados individualmente através do Certificado de Qualificação de Soldador (CQS), que garante o entendimento e demonstração da habilidade para trabalhar com a EPS especificada. (CALDAS, 2013).

Os principais parâmetros contidos numa especificação são: a composição química, classe e espessura dos metais base, processo de soldagem, tipos de consumíveis e suas características, tipo de junta, posição, temperatura de pré-aquecimento e entre passes, corrente, tensão e velocidade, aporte térmico, número aproximado de passes e características do tratamento térmico posterior (quando usado). (CALDAS, 2013).

2.4.6 Ensaios não destrutivos (END)

São testes realizados no material com o objetivo de identificar possíveis defeitos de ou discontinuidades na estrutura. O principal benefício dos testes não destrutivos é o fornecimento de resultados satisfatórios sem a necessidade de submeter o material a extremas situações de estresse que podem afetar sua integridade. Cada plano de trabalho especifica os tipos de END que serão aplicados após a conclusão do projeto e os mais comuns na engenharia de campo são: Inspeção Visual de Solda, Medição de Espessura (ME), Inspeção por Partícula Magnética (PM), Inspeção por Líquido Penetrante (LP), Inspeção por Ultrassom (UT), Inspeção por Raio x e teste de estanqueidade. (CALDAS, 2013). Abaixo pode-se entender melhor alguns dos testes mencionados:

- Inspeção Visual de Solda: é o mais simples dos END's, já que não necessita de equipamentos e compostos específicos sendo requerida apenas a habilidade do profissional responsável na identificação do defeito. O principal objetivo é encontrar possíveis discontinuidades na superfície que possam gerar defeitos na estrutura futuramente. Durante o ensaio, uma limpeza mais refinada e boa luminosidade são aconselhados e o próprio soldador pode fazê-la previamente para auxiliar o inspetor

qualificado. Na Figura 16 observa-se um exemplo de cordão de solda pronto para realização do exame.



Figura 16 - Cordão de solda pronto para inspeção visual. (Autor).

- Inspeção por Líquido Penetrante: baseia-se na penetração de líquidos em discontinuidades superficiais de peças por ação do fenômeno da capilaridade, e é utilizado, portanto, na verificação da existência de trincas superficiais difíceis de serem observadas a olho nu. (GARCIA, 2012). É necessário fazer a limpeza e secagem da área testada, aplicação no líquido e retirada do seu excesso na superfície, inserção de pó revelador e a observação da peça pelo inspetor. O uso pode ser condicionado às chapas com geometrias irregulares ou em acessos difíceis como no caso da raiz de solda ilustrado na Figura 17.



Figura 17 - Ensaio por líquido penetrante. (Autor).

- Inspeção por Partícula Magnética: consiste na magnetização do corpo de prova aplicando-se logo em seguida óxido de ferro ou limalha de ferro sobre ele. Em caso de descontinuidade superficial ou subsuperficial (até 4 mm da superfície), o composto forçará a passagem do campo magnético para fora, formando um campo de fuga que irá atrair as partículas, formando uma indicação visível da localização e da extensão do defeito. (GARCIA, 2012). É recomendado para geometrias menos complexas devido a dificuldade de posicionamento do YOKE (Figura 18).

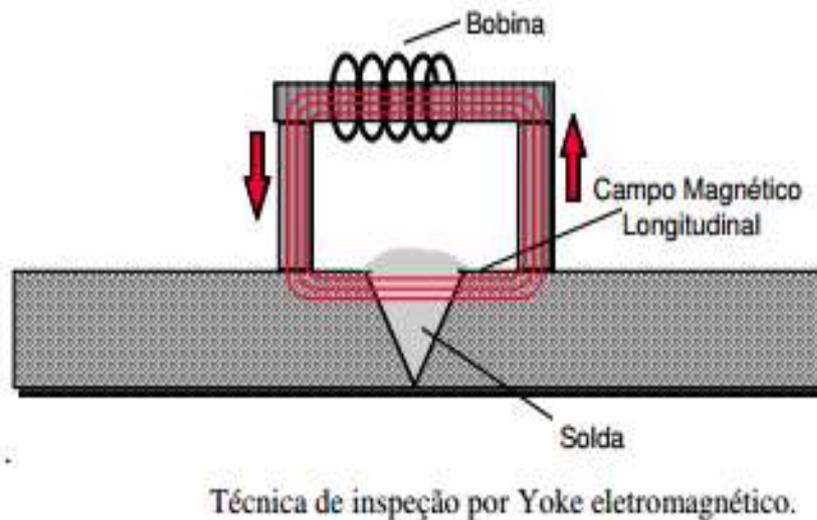


Figura 18 - Inspeção por PM. (BLOG DO METALÚRGICO, 2016).

- Inspeção por Ultrassom: através da tecnologia da utilização de ondas ou impulsos ultrassônicos é possível a detecção de descontinuidades superficiais ou internos nas peças. São aplicados, geralmente, dois métodos de ensaio diferentes e que se completam: o método de transparência, a partir de vibrações constantes ultrassônicas, e o de reflexão, utilizando-se pulsos ultrassônicos. A escolha depende do formato da peça e da natureza do tipo de defeito a ser detectado. Os sinais recebidos são mostrados em um instrumento eletrônico (Figura 19), comumente o osciloscópio, onde o eixo horizontal do mostrador representa o tempo de propagação do sinal acústico e o eixo vertical representa a amplitude do sinal. (GARCIA, 2012).

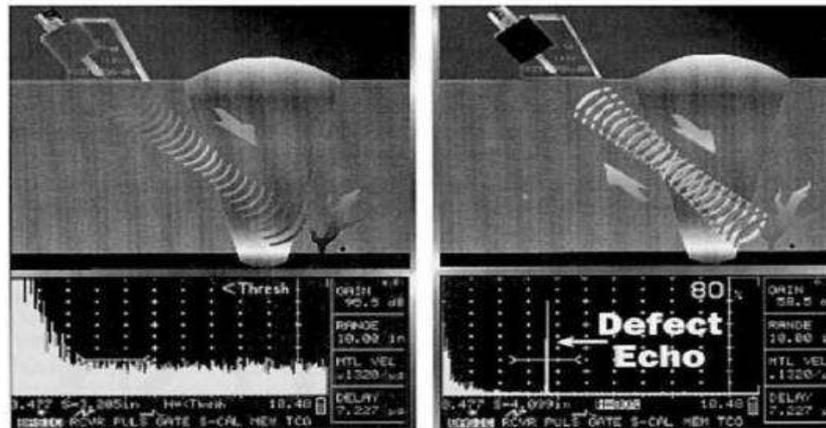


Figura 19 - Inspeção por Ultrassom. (GARCIA, 2012).

2.4.7 Soldabilidade

Define-se como a capacidade de receber a solda que um material possui sob as condições de fabricação impostas a uma estrutura específica, projetada adequadamente, e de desempenhar satisfatoriamente o serviço pretendido. (AWS, 2015). A maior parte das ligas metálicas é soldável, entretanto, algumas apresentam maior dificuldade levando em consideração o método executado. O resultado de uma junta é consequência basicamente da aplicação destinada e, para analisar a soldabilidade de um material, é preciso entender as etapas do projeto e sua finalidade. Também é indispensável ter domínio sobre as propriedades o aço escolhido, a estrutura e o ambiente de serviço como cargas aplicadas, clima, atmosfera exposta, entre outros. (MODENESI, 2011).

Como os metais são bons condutores de calor, as taxas de dissipação e resfriamento também são elevadas, o que pode originar regiões com microestruturas frágeis. O uso do preaquecimento (50°C a 540°C) é o método mais eficiente para reduzir a taxa de resfriamento do metal e garantir uma boa soldabilidade. (CONCEIÇÃO, 2016).

2.4.8 Influência das normas para a soldagem

As normas são a base para a fundamentação teórica e prática na engenharia. Estabelecem conceitos técnicos mínimos e específicos de qualidade que devem ser atendidos para garantir a segurança, qualidade e beneficiar a sociedade devido aos sistemas padronizados, que facilitam os processos produtivos industriais e comerciais.

O presente estudo foi influenciado por normas de soldagem e navais como AWS D1.1 e IACS. Ambas possuem informações que indicam a temperatura de preaquecimento mínimo da chapa antes da aplicação do MA, a primeira especificando a temperatura com base no material, processo e espessura utilizados e a segunda tem como foco a estrutura naval abaixo da lâmina d'água. Alguns trechos presentes nas normas citadas são referenciados a seguir:

- AWS D1.1: fazendo a leitura da Tabela 1, identificamos que a temperatura de preaquecimento mínima e de interpasse para o aço ASTM A 131 grau AH36, aplicando o processo SMAW em uma chapa de até 38mm não solicita, obrigatoriamente, o preaquecimento acima de 10 °C.

C a t e g o r i a	Especificação do Aço	Processo de Soldagem	Espessura da parte mais espessa no ponto de soldagem		Temperaturas Mínimas de Pré-aquecimento e de Interpasse	
			in	mm	F	°C
B	ASTM A 36	SMAW com eletrodos com baixo nível de hidrogênio SAW, GMAW, FCAW,	1/8 a 3/4 incl.	3 a 20 incl.	32	0
	ASTM A 53 Grau B					
	ASTM A 106 Grau B					
	ASTM A 131 Graus A, B, CS, D, DS, E AH 32 & 36 DH 32 & 36 EH 32 & 36					
	ASTM A 139 Grau B					
	ASTM A 381 Grau Y35					
	ASTM A 441 Grau A					
	ASTM A 500 Grau B					
	ASTM A 501 Grau C					
	ASTM A 516 Graus 55 & 60 65 & 70					
ASTM A 524 Graus I & II						
ASTM A 529 Graus 50 & 55						

Tabela 1 - Especificações mínimas da AWS para temperaturas de preaquecimento. (AWS, 2015).

- IACS 47: no item 5.3 indicado na IACS destacam-se os requisitos necessários para soldas abaixo da lâmina d'água. No 5.3.3 é abordado o mínimo de preaquecimento para as chapas nas condições mencionadas, afirmando que: “para garantir a secagem e reduzir a taxa de resfriamento, a estrutura deve ser preaquecida por tocha ou semelhante, até a temperatura mínima de 5°C ou conforme especificado no procedimento de soldagem.” (IACS, 2010).¹

¹ In order to ensure dryness and to reduce the cooling rate, the structure is to be preheated by a torch or similar prior to welding, to a temperature of minimum 5°C or as specified in the welding procedure.

2.5 Estrutura e propriedade dos materiais

Em geral, estrutura dos materiais se refere aos arranjos de seus componentes internos. (CALLISTER, 2002). Existe uma forte dependência entre estrutura e as propriedades mecânicas dos metais. O calor e/ou deformações plásticas fornecidos durante a soldagem estimulam alterações que são consequência das reações ocorridas durante a solidificação e resfriamento da junta soldada.

No contexto da indústria naval apresentado, o papel dos engenheiros é fundamental na análise e determinação das distribuições de tensões dentro dos membros que estão sujeitos a cargas bem definidas, através de ensaios experimentais e análises teóricas de tensão.

2.5.1 Níveis estruturais

Tratando-se de materiais, observa-se diversos níveis estruturais que são identificados através de equipamentos que ampliam e possibilitam a visualização. As propriedades mecânicas, assim como algumas físicas e químicas podem ser estudadas de acordo com os níveis do composto, conforme demonstrado na Tabela 2.

Nível estrutural	Dimensões aproximadas	Exemplos de técnicas de estudo	Detalhes comuns
Macroestrutura	>100 μ m	Macrografia, Radiologia	Segregação, trincas, camadas cementadas.
Microestrutura	100 μ m a 0,1 μ m	Microscopia ótica, microscopia eletrônica de varredura	Tamanho de grão, microconstituintes, microtrincas.
	0,1 μ m a 0,1nm	Microscopia eletrônica de transmissão	Precipitados submicroscópicos, células de deslocações.
Estrutura cristalina	1nm a 0,1nm	Difração de raios X	Células unitárias, parâmetros de rede, defeitos cristalinos.
Estrutura eletrônica	<0,1nm	Espectroscopia de emissão ótica	Níveis atômicos, defeitos eletrônicos

Tabela 2 - Níveis estruturais. (MODENESI; MARQUES, 2009).

2.5.2 Microestrutura

A microestrutura, em geral, é o nível estrutural de um material que pode ser vista com auxílio microscópio. Seu tipo é definido a partir da composição química, concentrações e tratamento térmico realizado na liga. A microestrutura de um material compreende, em poucas palavras, tipicamente as diferentes fases e o modo como elas estão arrançadas. A fase é definida como uma área homogênea de um sistema que possui características físicas e químicas uniformes, como fase Martensita ou Austenita. Para revelar a microestrutura com auxílio do microscópio, se faz necessário um procedimento específico que inclui o lixamento, limpeza por polimento e ataque químico na peça. (CALLISTER, 2002). A Figura 20 apresenta um exemplo de microestrutura do aço ASTM A131 grau AH36 após determinados procedimentos.



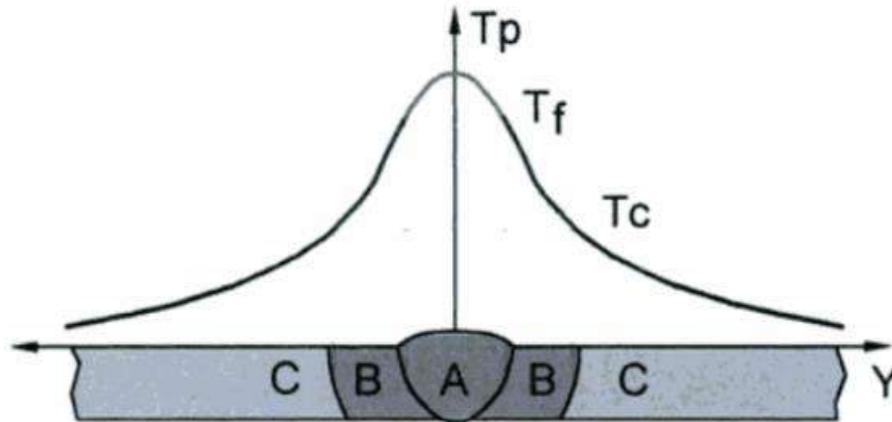
Figura 20 - Microestrutura do ASTM A131 grau AH36. (COZZA et al., 2019)

2.5.3 Macroestrutura

A macroestrutura se subdivide em três regiões quando tratamos de soldagem pelo método de fusão. As áreas são separadas de acordo com a curva térmica que é estabelecida ao analisarmos os locais afetados pelo calor.

De acordo com a Figura 21 a ZF que é a região onde o MA se uniu ao MB e solidificou após o processo, a ZTA que é região não unida ao redor da aplicação do metal de adição onde o material tem suas propriedades mecânicas afetadas e a temperatura atingida supera a temperatura crítica. (MODENESI; MARQUES, 2009). Em seguida, visualiza-se também a área

do MB, que é mais afastada da ZF, onde a presença de calor é menos expressiva e não temos alteração das propriedades da peça.

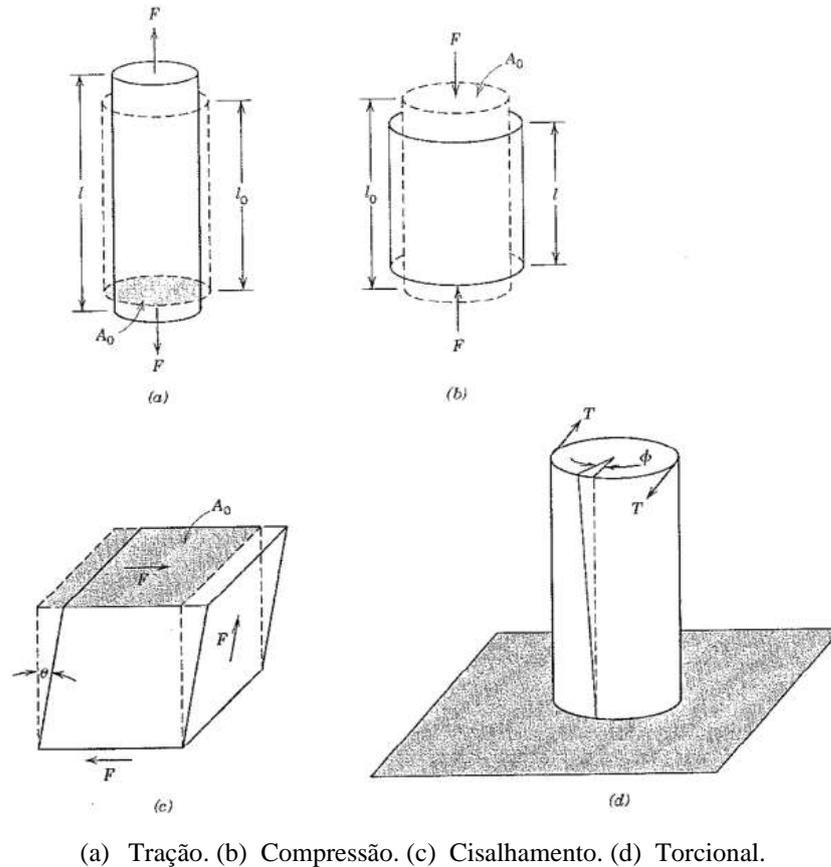


Legenda: A – ZF; B – ZTA; C – MB.

Figura 21 – Macroestrutura. (MODENESI; MARQUES, 2009).

2.5.4 Tensão x Deformação

Na engenharia de materiais as seções ou superfícies de um corpo podem ser afetadas por cargas estáticas ou variantes ao longo do tempo, provocando alterações em seu comportamento mecânico. As forças podem ser de tração, compressão, cisalhamento, e muitas vezes ocorrem de forma torcional. (Figura 22). (CALLISTER, 2002).



(a) Tração. (b) Compressão. (c) Cisalhamento. (d) Torcional.

Figura 22 - Formas de uma carga ser aplicada em um corpo. (CALLISTER, 2002).

A deformação ou esforço em que uma estrutura é submetida varia de acordo com a intensidade da tensão em sua superfície. Quando a carga inserida é relativamente baixa é estabelecida a proporcionalidade entre a tensão e a deformação deduzida pela lei de Hooke, através do módulo de elasticidade denotado por E , conforme a Equação 1, onde σ é a tensão aplicada e ε é a deformação sofrida após a ação da carga. A deformação em que a relação de proporcionalidade é válida é chamada de deformação elástica, e o material ainda permanece com a capacidade de retornar a sua forma original após o término da ação da carga. Quando a força ultrapassa o ponto em que chamamos de limite de escoamento temos a deformação plástica, onde o material permanece deformado. (HIBBELER, 2010).

$$\sigma = E\varepsilon$$

(Equação 1)

2.5.5 Propriedades mecânicas dos materiais

O comportamento mecânico de um aço descreve a relação entre a sua reação ou deformação a uma carga que esteja sendo aplicada e as características dos materiais são verificadas através de testes em laboratórios que simulam as condições reais de operação. Dentre os fatores relevantes estão a natureza da força, a duração, assim como as condições ambientais e a temperatura de operação. (HIBBELER, 2010). O gráfico da Figura 23 é a ferramenta ideal para analisar o comportamento de um metal durante a ação de uma tensão em sua superfície ou secção.

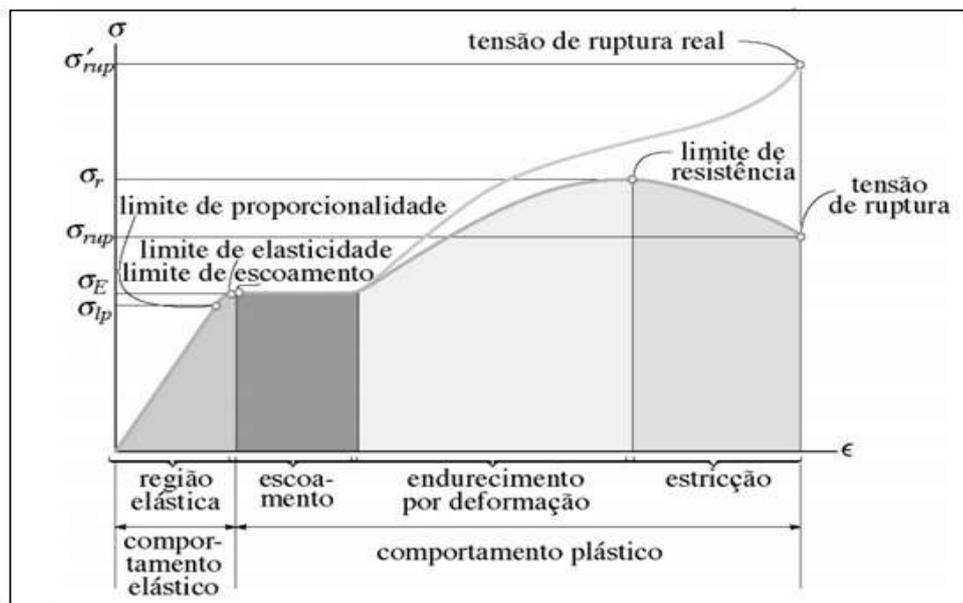


Figura 23 - Diagrama de tensão-deformação. (HIBBELER, 2010).

O diagrama também pode ser utilizado para comparar corpos de provas de mesmo aço ou diferentes. Segundo Hibbeler, dentre as principais propriedades mecânicas são citadas:

- Limite de proporcionalidade: ponto onde o comportamento da curva da tensão-deformação começa a deixar de ser linear.
- Limite de elasticidade: é a tensão máxima em que o CP suporta com possibilidade de retornar a forma original caso a carga seja interrompida. Muitas vezes não é possível encontrar o ponto para os aços, visto que, se encontra muito próximo do limite de proporcionalidade.

- Limite de escoamento: a partir desse ponto a deformação passa a ser plástica e o escoamento do material é iniciado.
- Limite de resistência: no fim do escoamento uma carga extra pode ser aplicada até atingir a tensão máxima que pode ser sustentada por uma estrutura.
- Estricção: após atingir o limite de resistência, a área da seção transversal começa a diminuir em um determinado ponto ao invés de reduzir em todo o comprimento.
- Tensão de ruptura: é a tensão necessária para quebrar o corpo. No gráfico observa-se também a tensão de ruptura real, que é a de fato observada considerando a perda de área da seção nessa fase do diagrama.
- Dureza: é a medida da resistência a uma deformação plástica localizada (como um risco). Para determinar a dureza de um material, é necessário forçar um objeto penetrador em sua superfície em condições de força e taxa de aplicação controladas. Após o procedimento é feita a medição da profundidade ou tamanho da impressão no corpo de prova que é relacionada a um quantitativo de dureza. Quanto maior e mais profundo for o risco mais macio é.
- Módulo de tenacidade: pode ser definida como a capacidade de receber energia e deformação permanente sem fraturar. Materiais com um maior módulo de Tenacidade sofrem grande distorção devido à sobrecarga antes da ruptura.
- Resistência a fadiga: a ruptura por fadiga ocorre quando um material é submetido a ciclos de tensão ou deformação repetidos.

2.6 Características do ASTM A 131

Entre as ligas de ferro utilizadas na indústria a mais importante é o aço que, devido ao baixo teor de carbono e a adição de alguns elementos de liga (silício, fósforo, manganês, etc) na sua composição, apresenta propriedades especiais como maior elasticidade e resistência ao desgaste, à corrosão e à oxidação.

A norma ASTM A 131 contém as especificações estruturais de aços para chapas, barras, rebites e outras peças que são destinadas, principalmente, à indústria de construção naval. Pode ser subdividida em 2 grupos que se diferenciam pelo grau de resistência sendo divididos em baixa resistência (graus A, B, D, CS e E) e alta resistência (graus AH, DH, EH e FH). (ASTM A131, 2019). As Tabelas 3 e 4 mostram as diferenças nas composições químicas de ambos.

Elemento	Grau A (%)	Grau B (%)	Grau D (%)	Grau E (%)	Grau CS (%)
Carbono	0,21	0,21	0,21	0,18	0,16
Manganês	2,5xC	0,80	0,60	0,70	1,00
Silício	0,50	0,35	0,10 - 0,35	0,10 – 0,35	0,10 – 0,35
Fósforo	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035
Enxofre	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035

Tabela 3 - Requisitos para a composição química dos aços com baixa resistência - máximo ou intervalo. (ASTM, 2019).

Elemento	Graus AH/DH/EH - 32, 36 e 40 (%)	Grau FH - 32, 36 e 40 (%)
Carbono	0,18	0,16
Manganês	0,90 a 1,60	0,90 a 1,60
Silício	0,10 a 0,50	0,10 a 0,50
Fósforo	0,035	0,025
Enxofre	0,035	0,025
Alumínio	0,015	0,015
Nióbio	0,02 a 0,05	0,02 a 0,05
Vanádio	0,05 a 0,10	0,05 a 0,10
Titânio	0,02	0,02
Cobre	0,35	0,35
Cromo	0,2	0,2
Níquel	0,4	0,4
Molibdênio	0,08	0,08
Nitrogênio	-	0,012 (Se houver Alumínio)

Tabela 4 - Requisitos para a composição química dos aços com alta resistência - máximo ou intervalo. (ASTM, 2019).

As diferenças na composição química afetam diretamente as propriedades mecânicas dos materiais e conseqüentemente a resistência como pode-se observar na Tabela 5. Outra influência importante se reflete na quantidade de energia absorvida na deformação do corpo de prova que normalmente é obtida em Joules. Na Tabela 6 pode-se observar os valores mínimos para o aço ASTM A 131 grau AH36, com espessuras de até 100 milímetros, por orientação do sentido laminação em relação ao impacto. (ASTM, 2019).

Grau	σ_e (MPa)	σ_{LR} (MPa)	Alongamento (%)
A/B/D/E/CS	235	400 - 520	21 - 24
AH/DH/EH/ FH 36	355	490 - 620	19 - 22

Tabela 5 - Requisitos mínimos de Tração aços de baixa e alta resistência. (ASTM, 2019).

Grau	Longitudinal (J)	Transversal (J)
AH36	34 - 50	24 - 34

Tabela 6 - Requisitos mínimos de absorção de energia para o AH 36. (ASTM, 2019).

2.7 Ensaios Destrutivos

Dentre as principais finalidades dos Ensaios Mecânicos pode-se destacar a obtenção de informações rotineiras do produto como forma de controle no recebimento de materiais e na estrutura final do produto, além de possibilitar o desenvolvimento de novos materiais, processos e tratamentos. (GARCIA, 2012). Os ensaios permitem as análises das propriedades mecânicas através do comportamento do material quando submetido a esforços específicos, entretanto ocasionam a inutilização parcial ou total da peça.

Os testes mais comuns são os de dureza, tração, fadiga, fluência, impacto, torção, flexão, tenacidade à fratura entre outros. No presente trabalho realizaremos os testes de Tração e Impacto Charpy.

2.7.1 Ensaio de Impacto Charpy

O ensaio de impacto é um ensaio dinâmico empregado para a análise da fratura frágil de materiais onde um martelo pendular, que é liberado a partir de uma posição padronizada e de uma altura fixada (H_q) choca-se contra o corpo de prova. Após a liberação do pêndulo, sua ponta atinge e fratura o corpo de prova no entalhe, que funciona como um concentrador de tensões. O pêndulo segue seu movimento após a colisão, até uma altura (h_r) menor que a altura de liberação do pêndulo (H_q). A energia absorvida no impacto é obtida a partir da diferença entre H_q e h_r , ambas medidas na escala do equipamento. (GARCIA, 2012). O ensaio é ilustrado na Figura 24.

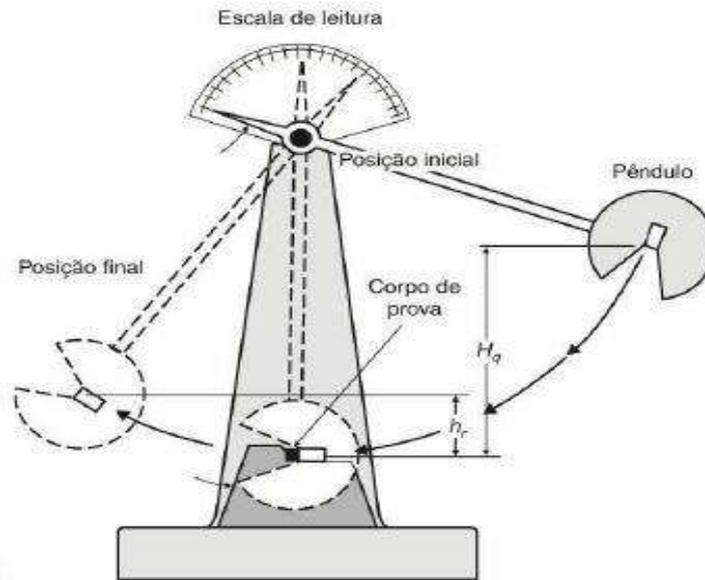


Figura 24 - Ensaio Charpy. (GARCIA, 2012)

Na maioria das vezes o Charpy é realizado quando o principal objetivo do ensaio consiste na determinação das transformações sofridas pelo material em função da variação da temperatura. (GARCIA, 2012).

2.7.2 Ensaio de Tração

É obtido após a aplicação de carga de tração uniaxial crescente em um corpo de prova específico até a ruptura. A variação no comprimento como função da carga é medida, e após o refinamento dos resultados obtém-se uma curva tensão x deformação da amostra. Trata-se de ensaio utilizado na indústria de componentes mecânicos devido á vantagem de fornecer dados quantitativos das características mecânicas dos materiais. Dentre as principais destacam-se: limite de resistência à tração, limite de escoamento, módulo de elasticidade, módulo de resiliência, modulo de tenacidade, coeficiente de encruamento, coeficiente de resistência e parâmetros relativos à ductilidade (estricção e alongamento). (GARCIA, 2012).

Na Figura 25 apresentam-se os corpos de prova que podem ser preparados de diferentes formas geométricas, dependem da rigidez da peça ensaiada, da capacidade da máquina e da geometria da peça de onde foi extraído, de modo a garantir que ocorra a fratura na região útil e assim atingir o objetivo do ensaio.

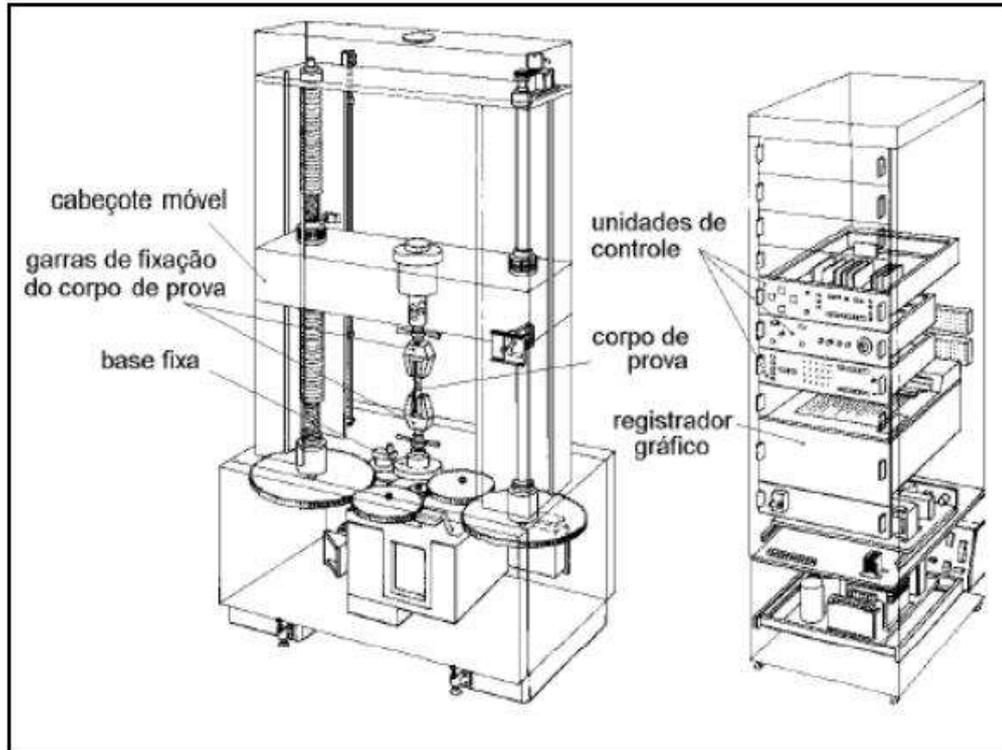


Figura 25 - Ensaio de Tração. (MARCOMINI).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

No presente trabalho quatro corpos de prova do ASTM A131 grau AH36 de mesmas dimensões foram usados para simular formas de corrosão por pites através da retirada de material da chapa com auxílio da fresadora, esmerilhadeira e retífica. Os pites foram usinados com profundidades controladas que foram medidas utilizando um paquímetro. Todos os corpos de prova permaneceram com a superfície inferior em contato com a água, em temperatura controlada, enquanto o processo SMAW era realizado na superfície superior em contato com o ar. No capítulo atual foram abordados os materiais e a metodologia experimental detalhada para o procedimento.

3.1 Cenário experimental

Com o objetivo de simular a temperatura e o gradiente térmico em que a chapa de aço no fundo de uma FPSO é exposta no oceano, um tanque (Figura 26) com água em temperaturas que variaram de 12°C à 80°C (medição com termômetro digital) foi projetado. Os corpos de prova foram fixados em uma bancada garantindo a estabilidade da peça que teve a face externa submersa em água e gelo. Todas as chapas foram limpas com escova de aço e líquido removedor antes do início do processo para minimizar a ocorrência de futuros defeitos.



Figura 26 - Corpo de prova com face oposta submersa. (Autor).

3.2 Materiais

Os materiais e equipamentos utilizados são certificados e foram fornecidos pela empresa Plimsoll Engineering & Fabrication. Para a realização do experimento foram usados 4 corpos de prova do aço ASTM A 131 grau AH36, certificados pela ABS, como material base e todos foram preparados com dimensões de 300 mm x 300 mm x 25mm. O MA para o processo SMAW foi o eletrodo da marca ESAB de classificação AWS A5.1-04 E7018 com dimensões de 3,25 mm x 350mm e lote VT023E3480. A Tabela 7 contém os valores iniciais, obtidos através de ensaios, das propriedades mecânicas dos MA e MB dos testes. Nos apêndices A e B estão todos os certificados comprobatórios dos materiais mencionados.

Material	σ_e (MPa)	σ_{LR} (MPa)	Alongamento (%)	Impacto Charpy(J)
MB	435	610	46	184
MA	460	540	28	80

Tabela 7 - Propriedades mecânicas dos elementos primários. (Autor).

3.3 Simulação dos pites nos corpos de prova

Para simular os efeitos da corrosão por pites algumas depressões foram forjadas de forma controlada com profundidade e diâmetro variados nas superfícies das chapas como ilustrado na Figura 27. Primeiramente um furo foi realizado com a fresadora na profundidade desejada para servir como guia garantindo a dimensão vertical do defeito e posteriormente o diâmetro do furo foi ajustado com retifica e esmerilhadeira desbastando o aço. A marcação das amostras foi enumerada de 1 à 4 e cada pite possui uma letra para sua identificação.



Figura 27 - Broca penetrando corpo de prova (simulação de pite). (Autor).

O formato usinado foi intencional para cada anomalia criada. Detalhando os corpos de prova é possível observar alguns com o diâmetro maior e mais irregulares e outros com formatos cilíndricos e diâmetro menor. O intuito dos formatos variados é analisar a influência dos diferentes tipos de passe de solda, visto que, com diâmetros mais largos é possível derreter o eletrodo com mais liberdade sem limite físico, o que garante um passe de solda reto e maior, enquanto nos pites com menor diâmetro existe a limitação geométrica e o passe é aplicado de forma circular.

Após a usinagem das depressões e a limpeza, o ensaio não destrutivo por líquido penetrante foi executado por um inspetor qualificado para garantir que não haviam defeitos superficiais nas amostras. As Figuras 28 à 31 mostram a geometria dos pites nos corpos de prova e o END finalizado.



Figura 28 - Corpo de prova 1 (depressões irregulares). (Autor).



Figura 29 - Corpo de prova 2 (depressões regulares). (Autor).



Figura 30 - Corpo de prova 3 (depressões regulares). (Autor).



Figura 31 - Corpo de prova 4 (depressão irregular e regular). (Autor).

A Tabela 8 fornece a profundidade, medida com um paquímetro, dos pites que foram usinados nos corpos de prova.

CP's	Pite A	Pite B	Pite C	Pite D	Pite E	Pite F	Pite G
#1	12	13	21	-	-	-	-
#2	6	9	6	11	7	8	-
#3	9	11	12	17	10	7	10
#4	21	19	-	-	-	-	-

Tabela 8 - Profundidade dos pites em milímetros. (Autor).

3.4 Processo de Soldagem

A partir da criação do cenário que simula o casco do navio e a preparação das depressões nas peças o processo de soldagem foi iniciado. Os pites com geometria irregular foram preenchidos pelo metal de adição com filetes retos na posição horizontal enquanto as peças com geometria regular (cilíndricas) foram preenchidos de forma circular já que o eletrodo não tinha espaço suficiente para deposição em filetes, como observa-se na Figura 32. Para facilitar as análises os pites foram separados com relação ao tipo de passe realizado decorrente da sua geometria, conforme descrito na Tabela 9.

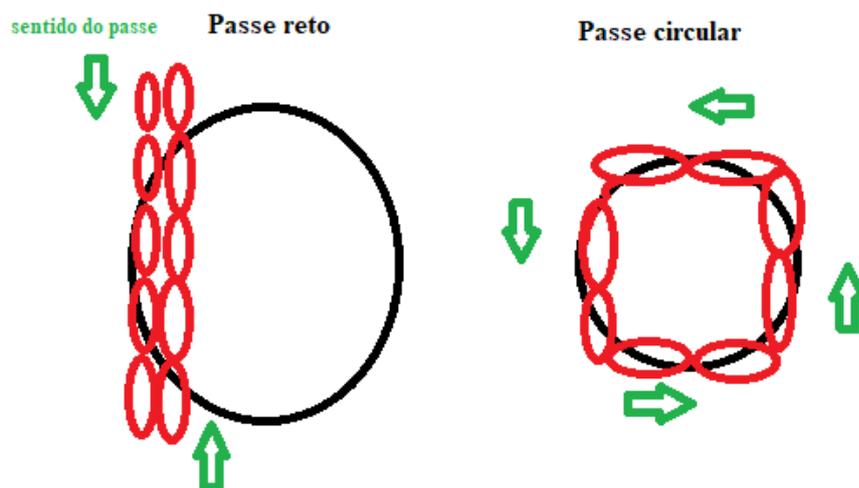


Figura 32 - Passes de solda reto x circular. (Autor).

Tipo de passe	Pites
Reto	1A, 1B, 1C e 4B
Circular	2A, 2B, 2C, 2D, 2E, 2F, 3A, 3B, 3C, 3D, 3E, 3F, 3G e 4A

Tabela 9 - Tipos de passe por pite. (Autor).

Durante a soldagem na chapa a água abaixo sofreu um aquecimento localizado e chegou a temperaturas consideravelmente mais altas do que inicialmente. Em paralelo um efeito forçado para movimentar a água e simular a correnteza ocorreu fazendo com que a região externa da peça entrasse em contato com a água mais fria e assim aumentado a taxa de resfriamento bruscamente.

Após o término do preenchimento do material todos os pites foram esmerilhados e lixados para igualar a altura da peça evitando partes de alto relevo e a deixando uniforme.

O controle de temperatura de interpasse, amperagem, limpeza e demais critérios foram realizados pelo inspetor de soldagem nível 1 que acompanhou o trabalho seguindo todos os requisitos da EPS qualificada. Em seguida, relatórios de Visual de Solda, Líquido penetrante, Partícula Magnética e Ultrassom foram gerados. Os registros podem ser encontrados nos apêndices D e E. As Figuras 33 à 36 mostram as etapas concluídas durante os processos de END.



Figura 33 - Visual de solda em peça finalizada - Peça #01. (Autor).



Figura 34 - Ensaio de LP em peça finalizada - Peça #03. (Autor).



Figura 35 - Ensaio por PM em peça finalizada - Peça #02. (Autor).



Figura 36 - Ultrassom em peça finalizada - Peça #03. (Autor).

3.5 Ensaio Destrutivos

Com o intuito de verificar a integridade estrutural e as propriedades mecânicas das peças após a soldagem, os quatro corpos de prova foram enviados para uma empresa especializada em ensaios destrutivos onde foram preparadas, para ensaios de Tração e Charpy, conforme a geometria possibilitou. No total foram extraídas 9 amostras para os ensaios de tração e 15 para os ensaios de impacto a 0°C. Um modelo de preparação e usinagem está representado nas Figuras 37 à 40.

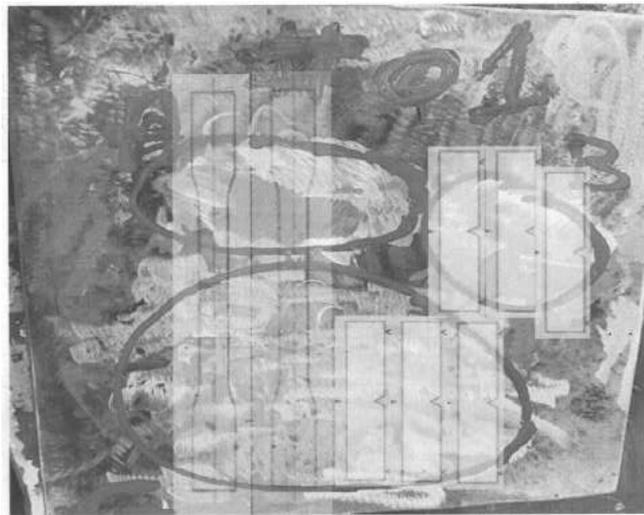


Figura 37 - Modelo de Usinagem dos Corpos de Prova - peça #01. (Autor).

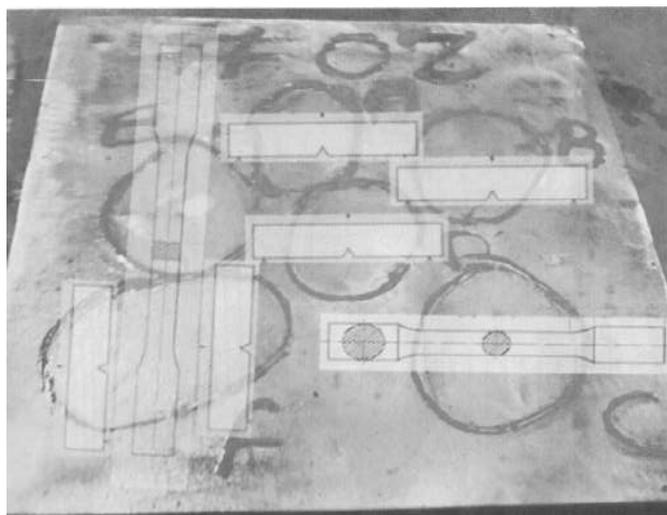


Figura 38 - Modelo de Usinagem dos Corpos de Prova - peça #02. (Autor).

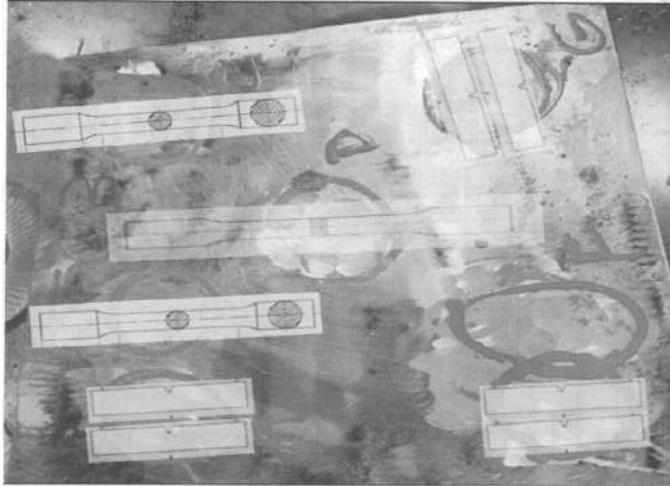


Figura 39 - Modelo de Usinagem dos Corpos de Prova - peça #03. (Autor).

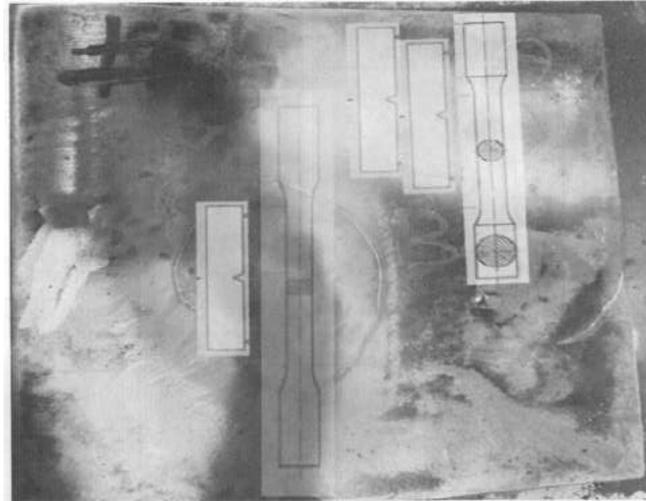


Figura 40 - Modelo de Usinagem dos Corpos de Prova - peça #04. (Autor).

Os testes se dividiram em três partes diferentes sendo duas direcionadas para os ensaios de tração, um com corpo de prova cilíndrico e outro retangular, e uma direcionada aos testes de impacto Charpy. As dimensões estão presentes na Tabela 10.

Ensaio	Dimensões (mm)	Quantidade	Pites
Charpy	50x10x10	15	1B, 1C, 2A, 2C, 2D, 2F, 3A, 3E, 3G, 4A e 4B
Tração retangular	50x40x25	5	1A, 1C, 2E/F, 3D e 4B
Tração cilíndrico	50x12,5(diâmetro)	4	2B, 3B, 3C e 4A

Tabela 10 - Dimensões e quantidade de corpos de prova. (Autor).

A partir da extração do CP's os testes foram iniciados em ambiente controlado e as análises podem ser encontradas no item 4.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 Ensaios não destrutivos

Para iniciar a discussão dos resultados analisam-se os ensaios não destrutivos que foram realizados nas peças antes de serem usinadas e levadas para o laboratório. Todas as análises foram positivas e não foram encontrados desvios visuais, superficiais, em profundidade rasa e descontinuidades profundas. Os relatórios assinados pelo profissional qualificado estão no apêndice E.

A falta de desvios nos END's não garante necessariamente boas condições nas propriedades mecânicas do corpo de prova, apenas refletem a não existência de defeitos de soldagem, o que evidencia que o procedimento foi seguido corretamente conforme a EPS solicita.

4.2 Ensaios Destrutivos

Pode-se observar nas Tabelas 11 à 13 e Figuras 41 e 42 os resultados numéricos dos testes:

1. Ensaio de Tração - CP's Retangulares

Número da amostra	Força máxima (N)	Limite de Resistência (MPa)	Limite de Escoamento (MPa)	Carga limite de escoamento (MPa)	Alongamento (%)	Área transversal (mm ²)
1A	571780	565	405	409860	47,5	1012,0
1C	579025	575	410	412870	44,5	1007,0
2E/F	602735	595	405	410265	47,0	1013,0
3D	497900	500	410	408278	16,5	995,8
4B	572280	570	410	411640	30,5	1004,0

Tabela 11 - Dados numéricos - Tração Retangular. (Autor).

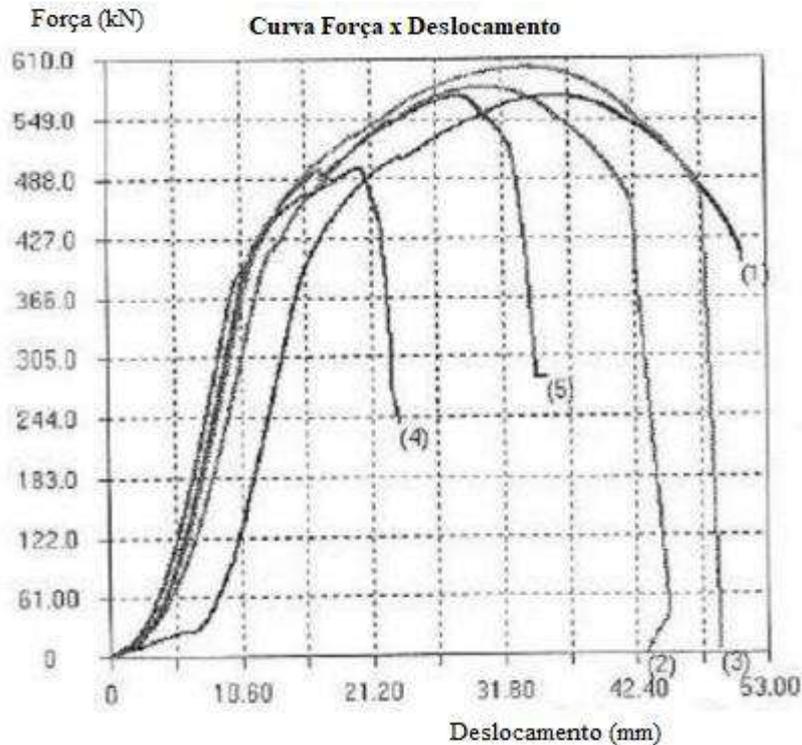


Figura 41 - Diagrama Força x Deslocamento - Tração Retangular. (Autor).

A Tabela 11 contém os resultados das propriedades que foram extraídas dos ensaios mecânicos feitos em laboratório, assim analisa-se cada corpo de prova com os determinados valores e elaborar a comparação do método com a influência no comportamento. Em seguida o gráfico Força x deslocamento da Figura 41 é apresentado com o intuito de mostrar as fases do aço de forma visual durante a aplicação da carga.

2. Ensaio de Tração - CP's Cilíndricos

Número da amostra	Força máxima (N)	Limite de Resistência (MPa)	Limite de Escoamento (MPa)	Carga limite de escoamento (MPa)	Alongamento (%)	Redução de área (%)	Área transversal (mm ²)
2B	75823	610	405	50341,50	28,5	73	124,3
3B	72210	580	390	48555,00	24,5	68	124,5
3C	72674	580	385	48240,50	23,5	37	125,3
4A	68365	550	375	46612,50	16,0	34	124,3

Tabela 12 - Dados numéricos - Tração Cilíndrico. (Autor).

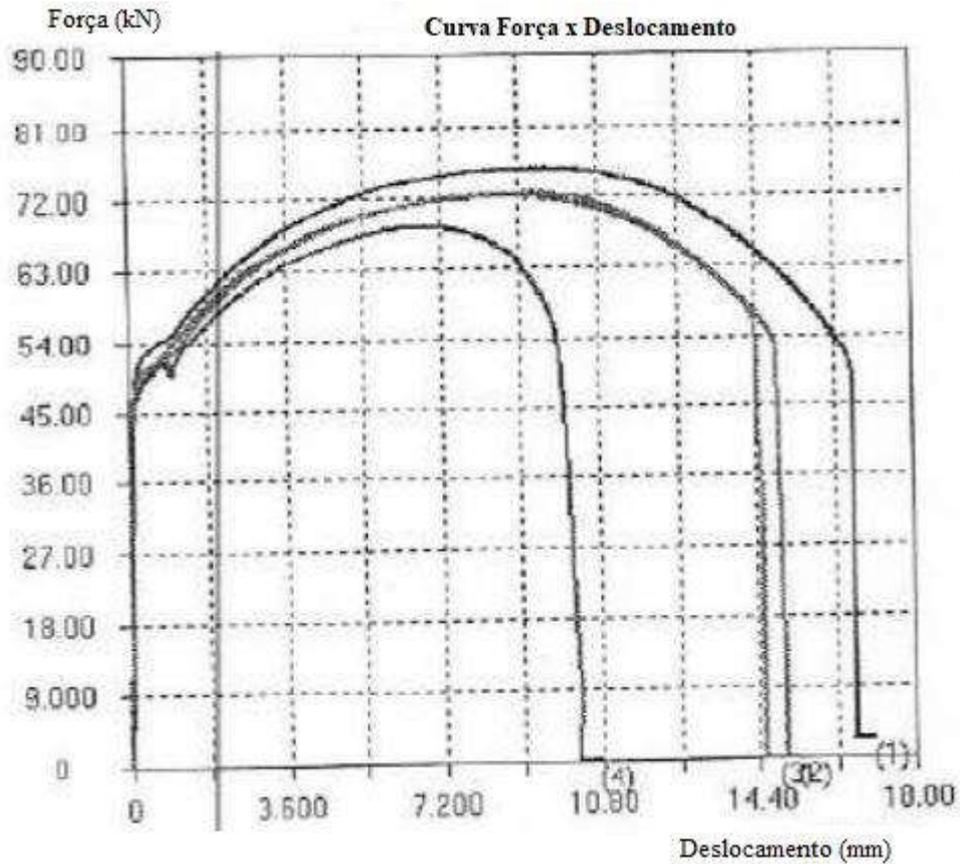


Figura 42 - Diagrama Força x Deslocamento - Tração Cilíndrico. (Autor).

A Tabela 12 tem as mesmas características da Tabela 11, porém se diferenciam quanto a forma da peça, na primeira o CP é retangular e na segunda, que apresenta a redução da área transversal, é cilíndrico. O diagrama da Figura 42 revela que a força foi adicionada em proporções numericamente menores para as peças cilíndricas devido ao formato e dimensões das amostras.

3. Ensaio de Impacto Charpy a 0°C:

CP	1° (J)	2° (J)	3° (J)	Média (J)
1B	148,08	141,36	145,56	145,00
1C	145,84	77,81	150,04	124,56
2A	186,06	143,04	-	164,75
2C	161,75	-	-	161,75
2D	85,16	140,80	-	112,98
2F	185,45	-	-	185,45
3A	75,22	70,86	-	73,04
3E	68,57	67,83	-	68,20
3G	69,84	70,35	-	70,10
4A	74,19	26,42	-	50,30
4B	75,22	-	-	75,22

Tabela 13 - Resultados numéricos - Teste de Impacto Charpy. (Autor).

A energia absorvida no teste de impacto está representada na tabela 13 e fornece os valores em Joules para cada pite testado. Algumas anomalias permitiram a extração de mais de uma amostra enquanto outras foram unitárias e as médias aritméticas foram calculadas conforme a última coluna nos mostra.

4.2.1 Comparações dos resultados

Inicialmente as comparações das análises foram feitas separadamente para cada um dos três ensaios:

- Tração Retangular: observa-se que o único Pite que não atingiu os requisitos mínimos de propriedades mecânicas para o grau AH36 foi o 3D, com a porcentagem de alongamento mínima abaixo do requisito especificado na Tabela 5. Presume-se que os motivos principais sejam a alta profundidade da depressão e o passe circular na soldagem. Tal conclusão foi alcançada após a análise do conjunto de dados que mostrou resultados positivos para o pite 2E/F com passe circular, porém com profundidade de depressão baixa, além dos pites 1C e 4B com profundidade alta, porém passe reto. O

gráfico da Figura 43 apresenta as comparações das propriedades mecânicas dos CP's para tração retangular.

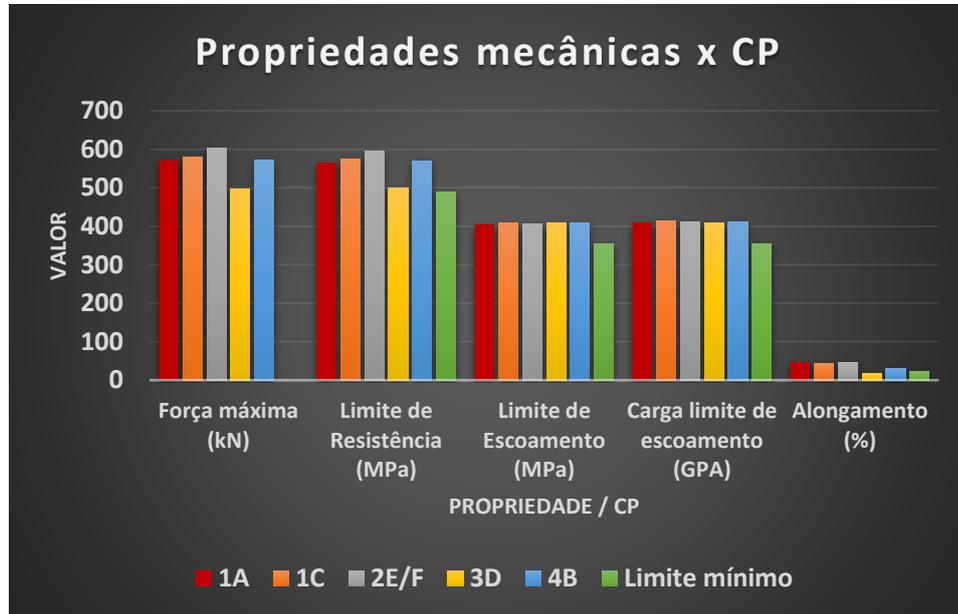


Figura 43 - Comportamento mecânico por CP – Tração retangular. (Autor).

A Figura 44 é uma aproximação visual dos resultados de alongamento obtidos.

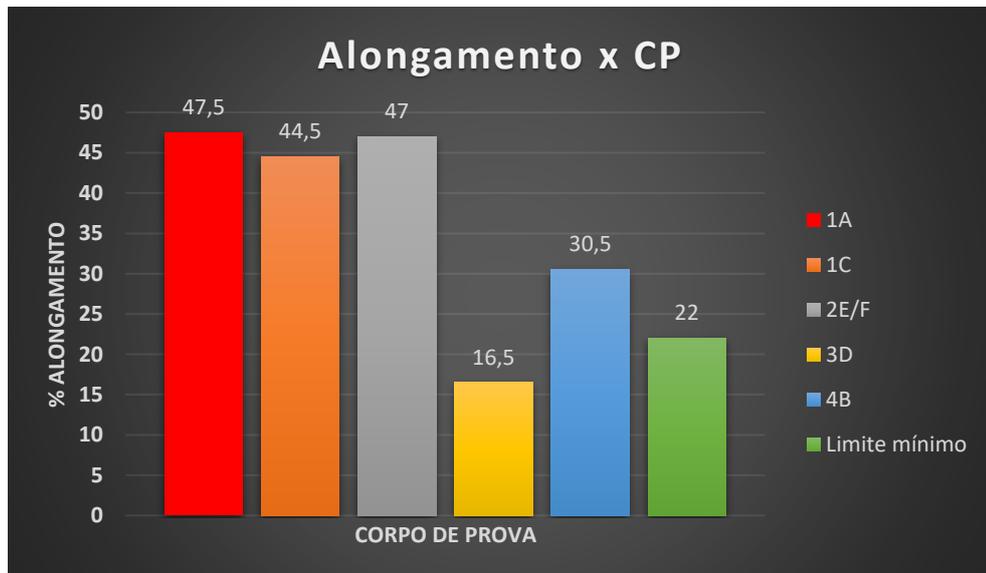


Figura 44 - Alongamento por corpo de prova. (Autor).

- Tração Cilíndrico: os resultados do pite 4A também não foram satisfatórios pelo mesmo motivo do pite 3D, a alta profundidade da depressão e o passe circular o fizeram obter um alongamento mínimo abaixo do mínimo requerido. Os pites 2B, 3B e 3C foram soldados com passe circular e tiveram resultados positivos pois as profundidades eram baixas, entretanto obtiveram a porcentagem de alongamento bem próxima do limite mínimo mostrado na Tabela 5. O gráfico da Figura 45 apresenta as comparações das propriedades mecânicas dos CP's para tração cilíndrica.

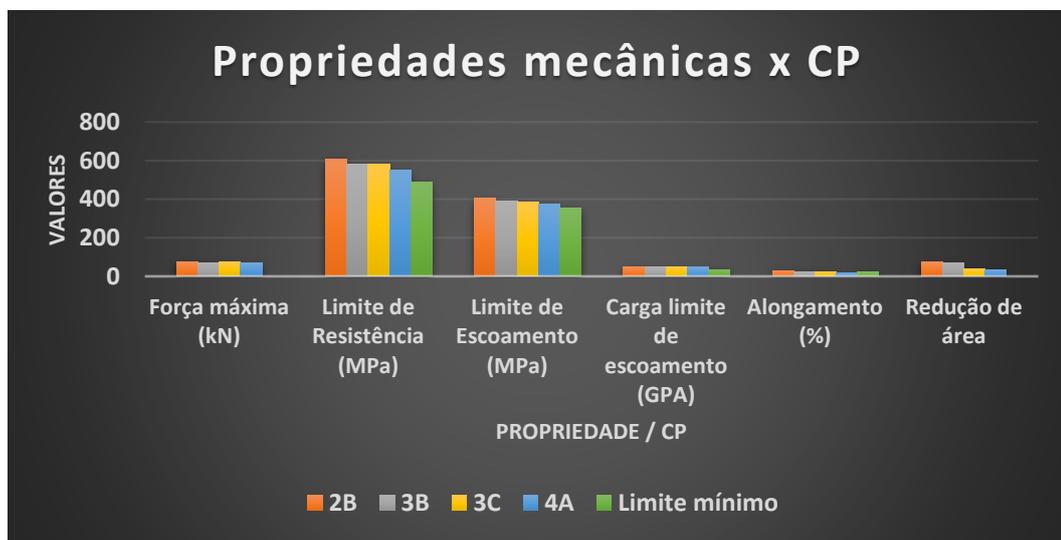


Figura 45 - Comportamento mecânico por CP – Tração Cilíndrico. (Autor).

A Figura 46 é uma aproximação visual dos resultados de alongamento obtidos para tração cilíndrico.



Figura 46 - Alongamento por corpo de prova. (Autor).

- Impacto Charpy: não houveram resultados negativos nos testes de impacto conforme a Figura 47, porém o CP 4A-2 obteve resultado bem próximo do mínimo aceitável para o AH36 e teve a energia absorvida média afetada. Um padrão pode ser notado analisando o contexto geral e é possível perceber que a quantidade absorvida pelos pites que foram soldados com passe reto é consideravelmente maior do que a energia dos que receberam o passe circular e possuem profundidade maior do que 8 milímetros, deixando evidente que existe uma pequena perda das propriedades mecânicas quando preenchemos depressões de alta profundidade com passe circular e sem preaquecimento. Outro ponto a ser colocado em questão é a energia absorvida pelo 4B (Tabela 14) que foi próxima a dos pites feitos com passe circular, evidenciando que é possível a alta profundidade da anomalia afetar nas propriedades mesmo quando o processo é realizado por passe reto.

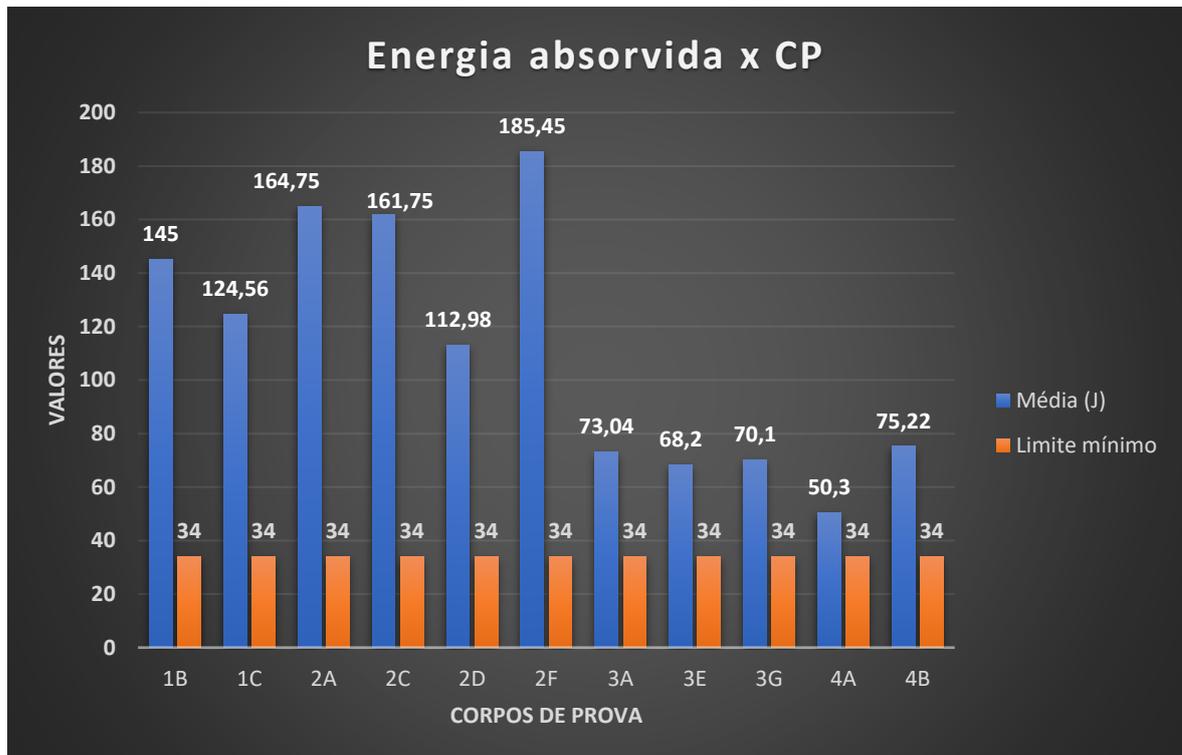


Figura 47 - Energia absorvida por corpo de prova. (Autor).

4.3 Consequências dos métodos aplicados

Após a análise individual de cada ensaio observa-se na Tabela 14 todos os pites e informações relevantes para uma análise geral.

Pite	Profundidade (mm)	Passe	Retangular			Cilíndrico			Charpy
			σ_e (MPa)	σ_{LR} (MPa)	Alongamento (%)	σ_e (MPa)	σ_{LR} (MPa)	Alongamento (%)	Média(J)
1A	12	Reto	405	565	47,5	--	--	--	--
1B	13	Reto	--	--	--	--	--	--	145
1C	21	Reto	410	575	44,5	--	--	--	124,56
4B	19	Reto	410	570	30,5	--	--	--	75,22
2A	6	Circular	--	--	--	--	--	--	164,75
2B	9	Circular	--	--	--	405	610	28,5	--
2C	6	Circular	--	--	--	--	--	--	161,75
2D	11	Circular	--	--	--	--	--	--	112,98
2E/ F	7	Circular	405	595	47	--	--	--	--
2F	8	Circular	405	595	47	--	--	--	185,45
3A	9	Circular	--	--	--	--	--	--	73,04
3B	11	Circular	--	--	--	390	580	24,5	--
3C	12	Circular	--	--	--	385	580	23,5	--
3D	17	Circular	410	500	16,5	--	--	--	--
3E	10	Circular	--	--	--	--	--	--	68,2
3F	7	Circular	--	--	--	--	--	--	--
3G	10	Circular	--	--	--	--	--	--	70,1
4A	21	Circular	--	--	--	375	550	16	50,3

Legenda: Abaixo do limite mínimo Próximo do limite mínimo

Tabela 14 - Comparativo geral dos ensaios. (Autor).

Os corpos de prova 3D e 4A presentes na Tabela 14, foram os únicos que não atingiram as propriedades mecânicas mínimas de alongamento para o ensaio de Tração conforme a Tabela XX apresenta. Visualiza-se também que o 4A foi o que mais se aproximou do mínimo necessário de energia absorvida no teste de impacto Charpy a 0°C olhando a sua média em Joules.

A explicação encontrada para o ocorrido com as duas peças tem relação com o tipo de passe (circular) que foi aplicado e a camada da espessura remanescente da chapa ser suficientemente baixa. Os resultados do teste de tração das amostras 1C e 4B, por exemplo, também foram reparadas com baixas espessuras, entretanto com o tipo de passe reto e as demais

foram soldadas com passe circular e espessura razoavelmente alta e todas atingiram as propriedades mínimas desejadas.

Os dados revelam que o passe reto é consideravelmente mais eficiente para a soldagem e garante as propriedades mecânicas mesmo sem o preaquecimento da região, no entanto depressões com alta profundidade requerem maior atenção ao serem reparadas, como a 1C e 4B que apresentaram valores dentro do esperado, porém inferiores aos demais que sofreram o mesmo processo. O passe circular não é ineficiente em anomalias com menos de 8 milímetros (consideradas rasas), porém não é recomendado por mostrar resultados significativamente inferiores.

4.4 Trabalhos com objetivos similares

4.4.1 ASTM A131 grau AH 32

Analisando o trabalho “Eliminação da etapa de preaquecimento para soldagem do aço utilizado na construção de quilha retrátil”, onde o autor Fábio Conceição (2016) realiza a fabricação da quilha retrátil (Figura 48) do veleiro KAT da Família Schurmann, construída no SENAI Itajaí SC sem a realização do preaquecimento, observa-se que existem formas de garantir a integridade do aço através da alteração de outros parâmetros que permitem a não utilização da técnica.

No estudo mencionado Conceição realizou os testes utilizando o aço ASTM A131 grau AH32 (com propriedades relativamente similares ao AH36) e a soldagem por arame tubular. Através do cálculo de Carbono equivalente no aço foi possível determinar a temperatura de preaquecimento já que um aço com carbono equivalente menor que 0,40% não é suscetível à fissuração por hidrogênio, entretanto, acima desse valor exigirá parâmetros especiais para sua soldagem, como a escolha de consumíveis de baixo teor de hidrogênio difusível e a possível necessidade de preaquecimento. (BARRAS, 2019).

Segundo Conceição, não existiu a necessidade de preaquecimento devido aos valores de energia térmica associadas ao processo, que foi suficiente para aquecer a região soldada. Verifica-se então que diversos fatores devem ser levados em consideração, como parâmetros de soldagem, composição química do material de base e de adição e espessura da chapa.



Figura 48 - Quilha após fabricação. (CONCEIÇÃO, 2016)

4.4.2 Ferro fundido Cinzento

Segundo os autores de “Estudo da influência do preaquecimento e resfriamento lento na soldagem de ferros fundidos cinzentos usando o processo de eletrodo revestido”, o ferro fundido cinzento é usado em larga escala industrial, contudo pode apresentar pouca capacidade de receber solda. Logo, as técnicas de pré e pós aquecimento podem ajudar a inibir a formação de microestruturas frágeis, o que resulta em uma melhor qualidade do cordão de solda. (MAIOCHI et al., 2017).

Para soldar o ferro cinzento o método de soldagem com eletrodo revestido foi escolhido por ser o mais prático e o mais barato. As 8 amostras foram soldadas nas temperaturas de preaquecimento de 200°C ou 400°C e resfriadas no ambiente ou com o auxílio de um forno. Após os testes os materiais foram submetidos a testes metalográficos, avaliação de microdureza (ensaio Vickers), ensaio de dobramento e análise macrográfica (Figura 49).

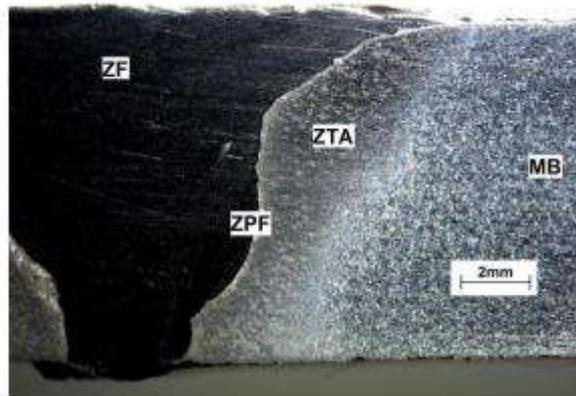


Figura 49 - Macrografia do cordão de solda. (MAIOCHI et al., 2017)

O trabalho demonstrou conclusões a respeito da energia de soldagem, dureza da ZTA, deformação devido ao esforço de cisalhamento e principalmente a respeito do preaquecimento e resfriamento. Os testes nas duas temperaturas de preaquecimento obtiveram respostas similares de acordo com os parâmetros estudados, concluindo-se que o preaquecimento é considerado uma variável de menor importância para a soldagem dos ferros fundidos cinzentos quando comparado com o tipo de resfriamento. (MAIOCHI et al., 2017).

4.4.3 Comparação entre os trabalhos

As pesquisas analisadas na seção 4.4 e o estudo do presente trabalho avaliaram as condições das amostras soldadas sem a técnica do preaquecimento através de métodos, materiais e aplicações diferentes e apesar da alta relevância do processo para garantir uma boa soldabilidade, existem diversas situações em que pré-aquecer o metal não se faz necessário ou pode-se substituí-lo pelas alterações de outros parâmetros que podem garantir as condições desejadas para o aço.

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo a avaliação da influência da taxa de resfriamento durante o reparo sem preaquecimento de chapas de aço AH 36, no casco de navios, abaixo da lâmina d'água assim como os diferentes tipos de geometria de pites e métodos de passe inseridos, permitindo obter as seguintes conclusões:

- Os ensaios não destrutivos feitos nos corpos de prova não apontaram defeitos de soldagem, evidenciado a boa qualidade dos procedimentos adotados durante o teste prático, independentemente do tipo de passe adotado.
- Optar por não realizar o preaquecimento não foi um fator negativo para a soldabilidade do aço ASTM A131 grau AH36, mesmo com uma taxa de resfriamento elevada causada pelo contato externo com a água, pois manteve as propriedades mecânicas das amostras em que o passe reto foi aplicado, inclusive em espessuras baixas.
- O passe mais confiável para a garantia de uma boa soldabilidade é o reto, já o circular só obteve resultados positivos em pites com profundidade rasa, logo não é recomendado. Portanto, a superfície deve ser preparada antes do reparo no intuito de modificar a geometria da anomalia facilitando a deposição do metal de adição pelo eletrodo e permitindo o passe reto.
- Anomalias com baixas profundidades dificilmente afetam as propriedades do aço quando soldadas, independentemente do tipo de passe, porém em baixas espessuras (abaixo de 6 mm) as propriedades ficam suscetíveis a atingir valores mais próximos do limite mínimo requerido para o material.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A partir dos estudos e conhecimentos adquiridos, propõe-se para trabalhos futuros:

- Efetuar o estudo da influência do gradiente de temperatura e taxa de resfriamento nas propriedades mecânicas do aço para as diferentes espessuras.
- Realizar os ensaios e análises comparando as amostras com e sem preaquecimento.
- Analisar a metalografia dos corpos de prova e relacionar a microestrutura com os resultados do presente estudo.
- Examinar os Corpos de Prova de outros tipos de aço com aplicabilidades similares nas mesmas condições.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CORROSÃO (ABRACO). **Corrosão**. Uma abordagem geral. Disponível: <<http://paginapessoal.utfpr.edu.br/israel/teoria/Teoria%20-%20Corrosao.pdf>>. Acesso em: 10 Julho. 2020.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM) A131/A131M-19. **Standard Specification for Structural Steel for Ships**. 2019.

AMERICAN WELDING SOCIETY (AWS) D1.1/D1.1M:2015. An American National Standard. **Structural Welding Code – Steel**. 2015.

APOLO11. **TEMPERATURA DA ÁGUA DO MAR**. Disponível: <<https://www.apolo11.com/sst.php>>. Acesso em: 10 Novembro. 2020.

BARRAS, Sérgio R. **Soldabilidade e Carbono Equivalente (Ceq)**. Site da Soldagem. 2019. Disponível em: < <https://www.sitedasoldagem.com.br/> >. Acesso em: 26 maio. 2021.

BLOG DO METALÚRGICO. **Ensaio por Partícula Magnética parte 2**. 2016. Disponível: <<https://blogdometalurgico.blogspot.com/2016/07/ensaio-por-particulas-magneticas-parte-2.html>> Acesso em: 20 Julho. 2020.

CALDAS, C. T. G.; **Desenvolver uma EPS (Especificação de Procedimento de Soldagem) para união de chapas de aço ASTM A 131 com processo FCAW**. 2013.

CALLISTER; W. D, Jr. **Ciência e Engenharia de Materiais**, Uma introdução. 5^a. ed, Rio de Janeiro: 2002.

CONCEIÇÃO, F. **Eliminação da etapa de preaquecimento para soldagem do aço utilizado na construção de quilha retrátil**. SENAI Itajaí SC. 2016.

COZZA LM, MEDEIROS JLB, BIEHL LV, SOUZA J, Ferreira Filho D. **Escolha das Energias de Soldagem para Aplicação na Técnica da Dupla Camada na Soldagem do Aço ASTM 131 Grau AH 36**. Soldagem & Inspeção. 2019.

DIVISÃO TÉCNICA DE CORROSÃO E PROTEÇÃO DE MATERIAIS (DTCPM). **Custos da corrosão**. Disponível: < <http://www.spmateriais.pt/corrosaoeprotecao/>>. Acesso em: 10 Janeiro. 2021.

ESAB. **APOSTILAS ESAB**. Disponível: <<https://www.esab.com.br/br/pt/education/apostilas/index.cfm>>. Acesso em: 20 Novembro. 2020.

ESTRUTURAS. **Cap3- Liga. II. LIGAÇÕES SOLDADAS**.UFPR.2015.

FONSECA, P. **Cultura Naval cursos livres. CURSO DE REGULATORY COMPLIANCE E TÉCNICAS DE VISTORIAS (EAD)**. Disponível em: < <https://culturanaval.eadbox.com/>>. Acesso em: 25 Outubro. 2020.

GARCIA; A. SPIM; J. A. SANTOS; C. A. **Ensaio dos Materiais**. 2^a. ed, Rio de Janeiro: 2012.

GENTIL, V. **Corrosão 4.ed.**, RO de Janeiro: Livros técnicos e científicos, 2003.

INFOSOLDA. **Trabalho prático. Técnica Operatório de Soldagem – GTAW**. 2015. Disponível: <<https://infosolda.com.br/artigos/processos-de-soldagem/851-trabalho-pratico-tecnica-operatoria-da-soldagem-gtaw>>. Acesso em 24 de Maio de 2021.

INTERNATIONAL ASSOCIATION OF CLASSIFICATION SOCIETIES (IACS). **No.47 Shipbulding and Repair Quality Standard**. Rev.5, Oct. 2010.

INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION (IMO). Disponível: <<https://www.imo.org/>>. Acesso em: 25 Abril. 2021.

MAIOCHI, H. et al. **Estudo da influência do preaquecimento e resfriamento lento na soldagem de ferros fundidos cinzentos usando o processo de eletrodo revestido**. 9º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação. Joinville, Santa Catarina, Brasil. 2017.

MARCOMINI, J.B. **Ensaio Mecânicos dos Materiais**. Tração. Universidade de São Paulo. Escola de Engenharia de São Carlos. Departamento de Engenharia de Materiais.

MARQUES; P. V. MODENESI; P. J. BRACARENSE; A. Q. **Soldagem fundamentos e tecnologia**. 3^a. ed, Belo horizonte: editora UFMG 2009.

MARQUES; P. V. MODENESI; P. J. **Soldagem I**. Introdução aos processos de soldagem. Belo Horizonte. UFMG – Departamento de Engenharia Metalúrgica. 2000.

MEDEIROS, V.A. **Estado da Arte do FPSO**. Rio de Janeiro: UFRJ/ ESCOLA POLITÉCNICA, 2015.

MODEC. **FPSO Cidade de Angra dos Reis MV22**. Disponível: <https://www.modec.com/fps/fpsso_fso/projects/tupi.html>. Acesso em: 12 Dezembro. 2020.

MODENESI, P.J. **Soldabilidade de Algumas Ligas Metálicas**. Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais. 2011.

OIYMPUS. **Soluções para inspeções de solda**. Disponível: <<https://www.olympus-ims.com/pt/weld-inspection-solutions/>> Acesso em: 16 Julho. 2020.

Portal fator Brasil. **Brasil perde 4% do PIB com corrosão, diz estudo**. 2016. Disponível: <https://www.revistafatorbrasil.com.br/ver_noticia.php?not=334281>. Acesso em: 20 Janeiro. 2021.

SCIENTIA. **Corrosão por Pites**. Uma forma de corrosão extremamente localizada e perigosa. Disponível: <<https://sites.google.com/site/scientiaestpotentiaplus/corrosao/corrosao-por-pites>>. Acesso em: 10 julho. 2020.

Thomas, P.A., Malek, S., Tcherniguin N., et al., “**A Solution For FPSO Module Integration**”. Offshore Technology Conference, Houston, Texas, U.S.A., 5–8 May 2003.

TRINDADE, W.N. **Consulsoldas**. Terminologia de Soldagem. 2015.

APÊNDICE A – Certificado do Eletrodo



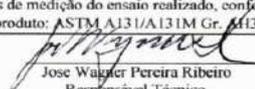
CERTIFICADO DA QUALIDADE
 Quality Certificate / Certificado de Calidad
 Conforme ASMESFA5.01/2019 Programa(Schedule) G

Produto : <i>Product</i>	CONARCO A 18 3,25 350MM LT 18KG	
Lote : <i>Lot Number/Produccion</i>	VT023E3480	Data de Produção : <i>Date/Fecha de Produccion</i>
Classificação : <i>Classification/Certificacion</i>	AWS A5.1-04 ASME SFA5.1/ 2019 E7018	
Corpos de Prova de Metal Depositado <i>AS Weld Metal Test Assemblies/Corpos de Prova de Metal Depositado</i>		
Análise Química (%) <i>Chemical Analysis/Análisis Químico</i>		
C	Si	Mn
0,073	0,308	1,260
Cr	Ni	Mo
0,070	0,027	0,009
P	S	V
0,017	0,008	0,010
Propriedades Mecânicas Típicas <i>Typical Mechanical Properties / Propiedades Mecánicas Típicas</i>		
Resistência a Tração (MPa)/Tensile Strength/Resistência a la Traccion	540	
Limite de Escoamento (MPa)/Yield Strength/Limite de Fluencia	460	
Alongamento (%) /Elongation/Alargamiento	28	
Teste de Impacto CHARPY-V (J)/Impact Test/Ensayo de Impacto	80	
Temperatura (°C)/Temperature/Temperatura	-30	
Teste de Filete <i>Filet Weld Test / Ensayo de Filete</i>		
ATENDE AOS REQUISITOS / SATISFY THE REQUIREMENTS / ATIENDE A LOS REQUISITOS		
Qualidade Radiográfica <i>Radiographic Test/Calidad Radiografica</i>		
GRAU 1	GRADE 1	GRADO 1
Observações <i>Observations/Observaciones</i>		
UMIDADE MOISTURE UNIDADES 0,50%		

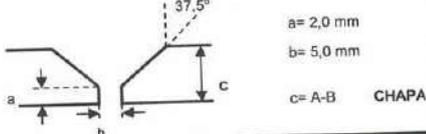
Dinarte Souza Carmo.

DINARTE SOUZA CARMO
 ESAB Indústria e Comércio Ltda.
 Controle de Qualidade Consumíveis
Quality Control / Control de la Calidad

APÊNDICE B – Certificado da chapa que os CP's foram extraídos

RIO LAB		RELATÓRIO DE ENSAIOS MECÂNICOS											
PHASED ENSAIOS													
Nº. Relatório: RL-MEC-485-3-20				Data do Ensaio: 04/12/2020				Folha nº.: 1/1					
Cliente: PLIMSOLL SERVICOS LTDA EPP		Endereço: AV CARLOS LACERDA,690 - ENSEADA DAS GAIVOTAS										Estado: RJ	
Cidade: RIO DAS OSTRAS		Referência: Classificação de material - CP 04											
Material: Chapa de aço carbono ASTM A131 Gr. AH36 - # 25,00 x 2440 x 12000 mmm - Corrida: 572036 - Volume: 67301201		Norma(s): ASTM A370 - 2019e1										Doc. Cliente: Certificado USIMINAS Nº: 389691	
Ensaio(s): Tração e Impacto (Charpy)													
RESULTADOS ENSAIO(S) DE TRAÇÃO RETANGULAR (IT 08 02) - Tipo de CP: Longitudinal													
Identificação do CP	Dim. iniciais				Força		Limite		Dim. Finais			Deformação	
	Lo mm	Larg. mm	Espes. mm	Área mm ²	Escoam. N	Máxima N	Escoam. MPA	Resist. MPA	Lf mm	Larg. mm	Espes. mm	Along. (%)	Estric. (%)
CP 04	50,00	40,19	24,70	992,69	431824,50	605547,00	435	610	73,00	***	***	46,00	***
***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
RESULTADOS DOS ENSAIOS DE IMPACTO CHARPY (IT 08 05) - Tipo de CP: Longitudinal													
Identificação do CP	Valores de energia em Joules				Observação								
	1 °	2 °	3 °	MEDIA									
CP 04	195,61	174,42	183,64	184,56	***								
***	***	***	***	***	***								
Notas: 1-Identificação do material fornecida pelo Cliente; 2- Condições ambientais: Temperatura: 23 ± 5°C; Umidade Relativa: ≤ 85%; 3- Tempo máximo de guarda de sobras de material e corpos de prova ensaiados: 60 dias.													
Equip.: Máq. Ensaio. PANTEC 1000 kN, Cert. Calib. PANANTEC nº: 7277.20, 7278.20, 7279.20, 7280.20 - val.: 27/07/21; Máquina Charpy nº. PEN-12, Cert. PANANTEC nº: 7281.20, 7282.20 com validade 27/07/21 ; Paquímetro nº LB MC 049 Cert. nº R-04551/20 - Validade 22/05/2021 ; Termômetro digital Gulton 200, LB MC 09 Cert. IMI nº. R-09835-20 - Validade 15/10/21													
Notas: Ensaio de Impacto													
Dimensões cp (mm): 10,00 x 10,00 Tipo e dimensão do entalhe: "V"-2mm Temperatura do Teste (°): 0°C													
Presente(s): Sr.: Carlos Augusto - ABS ***													
OBS:													
Declaração de conformidade													
Conforme acordado previamente com o cliente, para a análise de conformidade dos resultados obtidos no ensaio de tração com os requisitos da especificação do produto, onde a regra de decisão aplicada foi a consideração das incertezas de medição do ensaio realizado, conforme Relatório RL MEC-485-3/20, declaramos que o corpo de prova testado atende aos requisitos especificados pela norma do produto: ASTM A131/A131M Gr. AH36 - Ed. 13.													
													
Jose Wagner Pereira Ribeiro				Data de emissão: 04/12/2020									
Responsável Técnico													
Este relatório refere-se única e exclusivamente à amostra analisada e sua reprodução depende de autorização prévia.													

APÊNDICE C – EPS qualificada

		E.P.S. ESPECIFICAÇÃO DE PROCEDIMENTO DE SOLDAGEM			Nº: 033-19 Rev. 0 Data: 13-11-2019 Folha: 01 de 03		
Normas de referência <input type="text" value="AWS D1.1 - 2015"/>							
Processo (1)	<input type="text" value="SMAW"/>	Tipo	<input type="text" value="manual"/>	RQPS	<input type="text" value="R-033-19"/>	Rev. <input type="text" value="0"/>	
Processo (2)	<input type="text" value="---"/>	Tipo	<input type="text" value="---"/>	RQPS	<input type="text" value="---"/>	Rev. <input type="text" value="---"/>	
Croqui				Material (1)	<input type="text" value="ASTM A-131 Gr. AH36"/>		
Chanfro				Material (2)	<input type="text" value="ASTM A-131 Gr. AH36"/>		
V				Diâmetro mm	<input type="text" value="---"/>	Espessura mm <input type="text" value="16,0"/>	
Variável	Valores do R.Q.P.S.				Faixa Qualificada		
Material (1)	Pnº <input type="text" value="--"/>	Gr. <input type="text" value="II"/>			Pnº <input type="text" value="--"/>	Gr. <input type="text" value="II"/>	
Material (2)	Pnº <input type="text" value="--"/>	Gr. <input type="text" value="II"/>			Pnº <input type="text" value="--"/>	Gr. <input type="text" value="II"/>	
Espessura M. Base (mm)	<input type="text" value="16,0"/>				<input type="text" value="16,0"/>	=<Metal Base = < <input type="text" value="32,0"/>	
Espessura Metal de Solda Depositado (mm)	Processo (1) <input type="text" value="16,0"/>	Processo (2) <input type="text" value="---"/>		=< <input type="text" value="16,0 até 32,0 mm"/>			
Posição	<input type="text" value="2 G - 3 G ascendente - 4 G"/>				=< <input type="text" value="SOLDAGEM POR UM SÓ LADO EXCETO JUNTAS T-Y-K ALL POSITIONS and Vertical down"/>		
Progressão	Asc. <input type="text" value="sim"/>	Desc. <input type="text" value="-"/>			Asc. <input type="text" value="sim (6)"/>	Desc. <input type="text" value="sim"/>	
Metal Depositado	Raiz	Enchim.	Acabam. - CS	Tungstênio	Raiz	Enchim./Acabam.	Tungstênio
SPEC.SFA {5}{8}	5.1	5.1	5.1	--	5.1	5.1	--
CLASSE {5}	E7018	E7018	E7018	--	E7018	E7018	--
FABRICANTE/MARCA COMERCIAL	OK 48.04	OK 48.04	OK 48.04	--	OK 48.04	OK 48.04	--
DIÂMETRO MM	2,5 - 3,25	2,5 - 3,25	2,5	--	2,5 - 3,25	2,5 - 3,25	--
Grupo F	4	4	4	-	4	4	-
An.*	1	1	1	-	1	1	-
Caract. Elétricas	Processo (1)	Processo (2)	Processo (1)	Processo (2)			
Corrente	CONTINUA (CC)	----	CONTINUA (CC)	----			
Polaridade	INVERSA (+)	----	INVERSA (+)	----			
Voltagem	24 - 39	----	Limitado pelo valores de Heat Input	----			
Amperagem	65 - 150	----	Limitado pelo valores de Heat Input	----			
OBSERVAÇÕES: Vide folha 03-04 - Procedimento qualificado com ensaio Impacto, à 0°C							
INSPETOR Enrique Furlanetto Inspetor Solda SNQC IS0036 N.º - SEQUI-3642 13-11-2019		CHEFE DO C.Q. Denio Dian Coordenador Projeto Plimsoil Soluções S.A. 13-11-2019		FISCALIZAÇÃO 			

	ESPECIFICAÇÃO DE PROCEDIMENTO DE SOLDAGEM	Nº 033-19 Rev. 0 Data: 13-11-2019 Folha 03 de 03			
OBSERVAÇÕES à EPS nº 033/19, Rev. 0, código AWS D1.1 - 2015					
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td data-bbox="411 1641 715 1738" style="width: 33%;"> Inspetor: Enrique Fumanetto Inspetor Solda SNQC 150036 N II - SEQUI-3642 13-11-2019 </td> <td data-bbox="719 1641 1023 1738" style="width: 33%;"> Chefe do c.o.: RENIO DIAS Gerente de Projeto Plimsoil - Serviços Ltda 13-11-2019 </td> <td data-bbox="1027 1641 1299 1738" style="width: 33%;"> Fiscalização: </td> </tr> </table>			Inspetor: Enrique Fumanetto Inspetor Solda SNQC 150036 N II - SEQUI-3642 13-11-2019	Chefe do c.o.: RENIO DIAS Gerente de Projeto Plimsoil - Serviços Ltda 13-11-2019	Fiscalização:
Inspetor: Enrique Fumanetto Inspetor Solda SNQC 150036 N II - SEQUI-3642 13-11-2019	Chefe do c.o.: RENIO DIAS Gerente de Projeto Plimsoil - Serviços Ltda 13-11-2019	Fiscalização:			

(1) Qualifica materiais Grupos II x Grupos II da AWS D1.1
 Conteúdo C máximo : 0,23 % - Ceq máximo : 0,42 %

(2) Soldagem somente com corrente contínua (CC), SMAW : polaridade inversa.

(3) Qualifica todos os tamanhos de filete, sobre todas as espessuras de metal base

(4) Escória deve ser eliminada totalmente antes de iniciar uma nova camada.

(5) Consumíveis. Qualifica eletrodos revestidos da Classificação SFA 5.5 e 5.1.

(6): Em progressão ascendente, executar passes estreitos.

(7) Processo SMAW : O préaquecimento é de 100°C e a temperatura interpasses será de 150°C.

(8) Soldagem com tocha única.

(9) Quando necessário goivar, após executado, ensaiar por Líquidos Penetrantes.

(10) Peening, não permitido no passe de raiz e no acabamento.

(11) Procedimento qualificado com ensaio de Impacto, à 0°C.

Este Procedimento permite o uso de cobrejuntas em soldas de penetração total, executadas por um só lado da junta. Quando empregados cobrejuntas de material ferroso o conteúdo em fórmula de S será < 0,05 %.

As superfícies internas ou externas a serem cortadas termicamente ou soldadas, serão limpas e livres de : graxa, pintura, óxidos, carepas, respingos e qualquer material que seja detrimental para o metal base o para o metal de solda durante a soldagem.

(12) Dimensões CP Ensaio de Impacto : 10 x 10 mm

APÊNDICE D – Acompanhamento de soldagem

		R.Q.P.S. REGISTRO QUALIFICAÇÃO DE PROCEDIMENTO DE SOLDAGEM				Nº: 001/20 Data: 12/08/2020 Folha: 01 de 04				
Nome: CILSO PEREIRA DE SOUZA			Sinete: S-61		CPF: 111.581.518-13					
Posição: CHAPA 01 (1G)			Máquina de Solda: 9879-350015							
ACOMPANHAMENTO DE SOLDAGEM										
Passo Nº	Camada Nº	Consumível Classific.	Diâmetro mm	Tensão V	Amperagem A	Velocidade cm/min	Oscilação mm	Temperatura °C	Vazão Gás Litros	Velocidade alim. Arame
1	1A	E-7018	3,2	25	80	5,0	5,0	28°C	-	-
2	2A	E-7018	3,2	25	82	5,0	5,0	68°C	-	-
3	3A	E-7018	3,2	27	84	5,0	5,0	57°C	-	-
4	4A	E-7018	3,2	28	86	5,0	5,0	93°C	-	-
5	5A	E-7018	3,2	28	88	5,0	5,0	102°C	-	-
6	1C	E-7018	3,2	25	80	5,0	5,0	35°C	-	-
7	2C	E-7018	3,2	30	88	6,0	5,0	73°C	-	-
8	3C	E-7018	3,2	30	95	6,0	6,0	70°C	-	-
9	4C	E-7018	3,2	32	100	5,0	6,0	78°C	-	-
10	5C	E-7018	3,2	33	105	6,0	6,0	89°C	-	-
11	6C	E-7018	3,2	32	110	6,0	6,0	86°C	-	-
12	7C	E-7018	3,2	30	112	5,0	6,0	80°C	-	-
13	8C	E-7018	3,2	29	115	6,0	6,0	79°C	-	-
14	9C	E-7018	3,2	32	120	6,0	7,0	92°C	-	-
15	10C	E-7018	3,2	33	125	7,0	7,0	97°C	-	-
16	1B	E-7018	3,2	25	100	7,0	7,0	27°C	-	-
17	2B	E-7018	3,2	28	102	7,0	6,0	76°C	-	-
18	3B	E-7018	3,2	30	103	7,0	7,0	80°C	-	-
19	4B	E-7018	3,2	29	98	7,0	6,0	98°C	-	-
20										
21										
22										
23										
24										
25										
26										
27										
28										
29										
30										

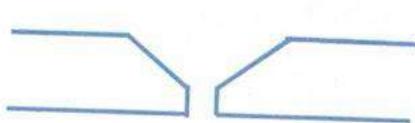
C R O Q U I		Espessura Metal Solda Depositado :
		Processo <input type="text" value="----"/> = <input type="text"/>
		Processo <input type="text" value="SMAW"/> = <input type="text" value="25,4MM"/>
		Observações : soldador: Alicete volt/ampemétrico: Paquímetro: Mitutoyo-Mod.: Termômetro digital:

Inspecor: Rafael Macedo da Silva Inspetor de Solda N1 SNQC 038011 N1 LP-N2-G/PM-N2-S-Y SNQC 26707 12-08-2020	Chefe do C.Q.: 12-08-2020	Fiscalização: 12-08-2020
---	----------------------------------	---------------------------------

Plimsoll		R.Q.P.S. REGISTRO QUALIFICAÇÃO DE PROCEDIMENTO DE SOLDAGEM				Nº: 001/20 Data: 12/08/2020 Folha: 02 de 04				
Nome: CILSO PEREIRA DE SOUZA			Sinete: S-61		CPF: 111.561.518-13					
Posição: CHAPA 02 (1G)				Máquina de Solda: 9879-350015						
ACOMPANHAMENTO DE SOLDAGEM										
Passo Nº	Carreada Nº	Consumível Classific.	Diâmetro mm	Tensão V	Amperagem A	Velocidade cm/min	Oscilação mm	Temperatura °C	Vazão Gás Limin	Velocidade alim. Arame
1	1A	E-7018	3,2	26	70	5,0	6,0	24°C	-	-
2	2A	E-7018	3,2	30	72	5,0	6,0	88°C	-	-
3	3A	E-7018	3,2	32	80	5,0	6,0	50°C	-	-
4	1F	E-7018	3,2	31	80	5,0	6,0	25°C	-	-
5	2F	E-7018	3,2	30	85	5,0	6,0	83°C	-	-
6	3F	E-7018	3,2	30	90	5,0	6,0	70°C	-	-
7	1C	E-7018	3,2	31	90	5,0	6,0	60°C	-	-
8	2C	E-7018	3,2	31	91	5,0	6,0	108°C	-	-
9	3C	E-7018	3,2	32	93	5,0	6,0	38°C	-	-
10	1E	E-7018	3,2	33	96	5,0	6,0	44°C	-	-
11	2E	E-7018	3,2	35	100	6,0	7,0	83°C	-	-
12	3E	E-7018	3,2	35	102	6,0	7,0	85°C	-	-
13	1B	E-7018	3,2	35	105	6,0	7,0	32°C	-	-
14	2B	E-7018	3,2	33	105	6,0	7,0	59°C	-	-
15	3B	E-7018	3,2	33	102	6,0	7,0	107°C	-	-
16	1D	E-7018	3,2	34	100	6,0	7,0	64°C	-	-
17	2D	E-7018	3,2	34	103	6,0	7,0	49°C	-	-
18	3D	E-7018	3,2	34	103	6,0	7,0	61°C	-	-
19										
20										
21										
22										
23										
24										
25										
26										
27										
28										
29										
30										
C R O Q U I					Espessura Metal Solda Depositado :					
					Processo	----	=		Processo	SMAW
Observações : soldador: Alicata voltamperimétrico: Paquímetro: Mitutoyo-Mod.: Termômetro digital:										
Inspetor: Rafael Macedo da Silva Inspetor de Solda N1 SNQC 26707 N1 LP-N2-G/PM-N2-S-Y 12-08-2020 SNQC 26707			Chefe do C.Q.: 12-08-2020				Fiscalização: 12-08-2020			

	R.Q.P.S. REGISTRO QUALIFICAÇÃO DE PROCEDIMENTO DE SOLDAGEM	Nº: 001/20 Data: 12/08/2020
	Nome: CILSO PEREIRA DE SOUZA Posição: CHAPA 03 (1G)	Sinete: S-61
ACOMPANHAMENTO DE SOLDAGEM		Máquina de Solda: 9879-350015

Passo Nº	Camada Nº	Consumível Classific.	Diâmetro mm	Tensão V	Amperagem A	Velocidade cm/min	Oscilação mm	Temperatura °C	Vazão Gás L/min	Velocidade alim. Arame
1	1C	E-7018	3,2	24	70	6,0	5,0	25°C	-	-
2	2C	E-7018	3,2	26	78	6,0	5,0	39°C	-	-
3	1E	E-7018	3,2	30	80	6,0	5,0	78°C	-	-
4	2E	E-7018	3,2	30	81	6,0	5,0	79°C	-	-
5	1A	E-7018	3,2	32	82	6,0	5,0	49°C	-	-
6	2A	E-7018	3,2	32	80	6,0	5,0	58°C	-	-
7	1D	E-7018	3,2	35	80	6,0	5,0	83°C	-	-
8	2D	E-7018	3,2	35	85	5,0	6,0	68°C	-	-
9	1G	E-7018	3,2	37	90	5,0	6,0	71°C	-	-
10	2G	E-7018	3,2	37	92	5,0	6,0	120°C	-	-
11	1B	E-7018	3,2	36	95	5,0	6,0	70°C	-	-
12	2B	E-7018	3,2	36	98	5,0	6,0	94°C	-	-
13	1F	E-7018	3,2	34	100	5,0	6,0	89°C	-	-
14	2F	E-7018	3,2	34	97	5,0	6,0	90°C	-	-
15										
16										
17										
18										
19										
20										
21										
22										
23										
24										
25										
26										
27										
28										
29										
30										

C R O Q U I		Espessura Metal Solda Depositado : Processo <input type="text" value="-----"/> = <input type="text"/> Processo <input type="text" value="SMAW"/> = <input type="text" value="25,4MM"/> Observações : soldador: Alicete volt/amperimétrico: Paquímetro: Mitutoyo-Mod.: Termômetro digital:
----------------------------	---	---

Inspetor: Rafael Macedo da Silva Inspetor de Solda N1 SNQC 135541 N1 LP-N2-G/PM-N2-S-Y 12-08-2020 SNQC 29707	Chefe do C.Q.: 12-08-2020	Fiscalização: 12-08-2020
--	----------------------------------	---------------------------------

Plimsoll		R.Q.P.S. REGISTRO QUALIFICAÇÃO DE PROCEDIMENTO DE SOLDAGEM				Nº: 001/20				
Nome: CILSO PEREIRA DE SOUZA				Sinete: S-61		Data: 12/08/2020				
Posição: CHAPA 04 (1G)				Máquina de Solda: 9879-350015				CPF: 111.561.518-13		
ACOMPANHAMENTO DE SOLDAGEM										
Passo Nº	Camada Nº	Consumível Classific.	Diâmetro mm	Tensão V	Amperagem A	Velocidade cm/min	Oscilação mm	Temperatura °C	Vazão Gás L/min	Velocidade alm. Arame
1	1B	E-7018	3,2	25	75	4,0	6,0	26°C	-	-
2	2B	E-7018	3,2	25	80	4,0	6,0	32°C	-	-
3	3B	E-7018	3,2	27	85	4,0	6,0	86°C	-	-
4	4B	E-7018	3,2	28	87	4,0	6,0	89°C	-	-
5	5B	E-7018	3,2	30	90	4,0	6,0	98°C	-	-
6	6B	E-7018	3,2	31	102	4,0	6,0	94°C	-	-
7	7B	E-7018	3,2	32	105	5,0	7,0	96°C	-	-
8	8B	E-7018	3,2	30	100	5,0	7,0	98°C	-	-
9	9B	E-7018	3,2	33	110	5,0	7,0	99°C	-	-
10	10B	E-7018	3,2	30	112	5,0	7,0	100°C	-	-
11	1A	E-7018	3,2	27	115	5,0	7,0	24°C	-	-
12	2A	E-7018	3,2	33	120	5,0	7,0	65°C	-	-
13										
14										
15										
16										
17										
18										
19										
20										
21										
22										
23										
24										
25										
26										
27										
28										
29										
30										

**C
R
O
Q
U
I**



Espeçura Metal Solda Depositado :

Processo =

Processo =

Observações : soldador:

Alicate volt/amperimétrico:

Paquímetro: Mitutoyo-Mod.:

Termômetro digital:

Inspetor: Rafael Macedo da Silva Inspetor de Solda N1 SNOC 195541 N1 LP-N2-QPM-N2-S-Y 12-08-2020 SNOC 29707	Chefe do C.Q.: 12-08-2020	Fiscalização: 12-08-2020
---	----------------------------------	---------------------------------

APÊNDICE E – Ensaios não destrutivos

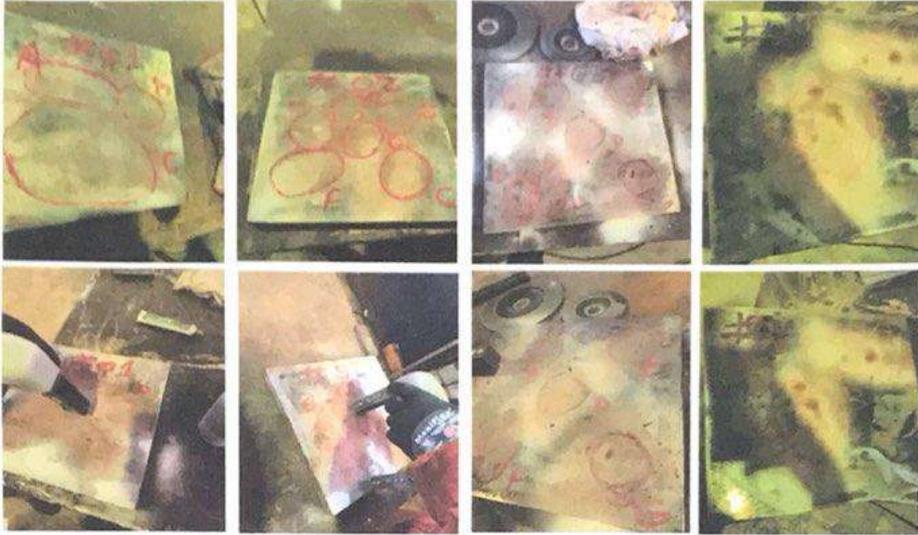
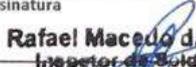
		RELATÓRIO DE ENSAIO VISUAL DE SOLDA				Nº: 001					
						Data: 12/08/2020					
						Página: 01/02					
Fabricante/Montador PLIMSOLL				Componente/Subconjunto TESTE DE SOLDABILIDADE DO AH36 SEM PRÉ - AQUECIMENTO							
Procedimento/Rev. INT-025/REV 00		Método utilizado ENSAIO VISUAL DIRETO		Espessura 25,0 mm		Norma/Especificação AWS D1.1					
Item	Identificação	EPS utilizada	Eletrodo/Classe	Lote	Nr Junta	Soldador		Tipo Defeito	Laudo		
						Raiz	Ench.				
1	CHAPA 01 - 25,0MM - 1G	033-19	E7018	VT023E3400	1	S-61	S-61	-	A		
2	CHAPA 02 - 25,0MM - 1G	033-19	E7018	VT023E3400	2	S-61	S-61	-	A		
3	CHAPA 03 - 25,0MM - 1G	033-19	E7018	VT023E3400	3	S-61	S-61	-	A		
4	CHAPA 04 - 25,0MM - 1G	033-19	E7018	VT023E3400	4	S-61	S-61	-	A		
Descontinuidades											
AA - Abertura de Arco AB - Acabamento das bordas preparadas AE - Ângulo Excessivo de Reforço Am - Amassamentos AP - Ausência de Planicidade CA - Cavidades C - Concavidade CE - Concavidade excessiva CXE - Convexidade Excessiva			DA - Deformação Angular D - Desalinhamento DI - Deposição Insuficiente DL - Dobras de Laminação E - Embicamento EC - Excesso de Carepa FP - Falta de Penetração FF - Falta de Fusão M - Mordedura MR - Mordedura na Raiz			P - Poro PC - Pontos de Corrosão PO - Porosidade PE - Penetração Excessiva RC - Rechupe de Cratera RE - Reforço Excessivo R - Respingos S - Sobreposição Sc - Sulcos			T - Trincas TC - Trincas de TI - Trinca TL - Trinca TM - Trinca na TR - Trinca TT - Trinca		
Legendas A - Aprovado, R - Reprovado, NEC - Necessário exame complementar											
Observações:											
INSPETOR Responsável Rafael Macedo da Silva Inspetor de Solda N1 - SNGC 186341 N1 LP-N2-QPM-N2-S-Y SNGC 29707					CONTROLE DA QUALIDADE Responsável Data						
Data 12/08/2020											

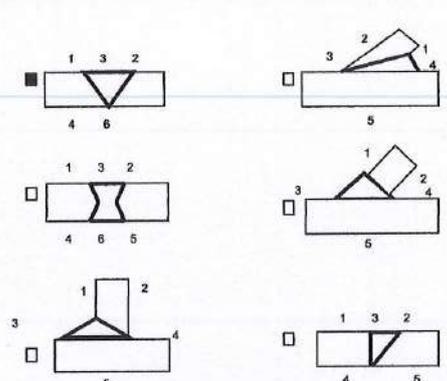
	RELATÓRIO DE ENSAIO VISUAL DE SOLDA		Nº: 001	
			Data: 12/08/2020	
			Página: 02/02	
Fabricante/Montador		Componente/Subconjunto		
PLIMSBOLL		TESTE DE SOLDABILIDADE DO AH36 SEM PRÉ - AQUECIMENTO		
Procedimento/Rev.	Método utilizado	Espessura	Norma/Especificação	
INT-025/REV-00	ENSAIO VISUAL DIRETO	25,0 MM	AWS D1.1	
CROQUI / DESENHO				
				
				
VISUAL DOS PITTING'S DAS CHAPAS 01,02,03 E 04				
Observações:				
INSPETOR		CONTROLE DA QUALIDADE		
Responsável	Rafael Macedo da Silva Inspetor de Solda N1 BNQC 195541 N1 LP-N2-GPM-N2-S-Y BNQC 28707		Responsável	
Data	12/08/2020		Data	

		RELATÓRIO DE ENSAIO POR LÍQUIDO PENETRANTE LIQUID PENETRANT EXAMINATION REPORT			<small>NR: (NUMBER)</small> 001/20	
					<small>DATA: (DATE)</small> 12/08/2020	
					<small>FOLHA: (SHEET)</small> 01/02	
<small>CLIENTE (CUSTOMER)</small> PLIMSOLL			<small>OBRA/CONTRATO (PROJECT/CONTRACT)</small> N/A			
<small>LOCAL DO ENSAIO (LOCATION)</small> PLIMSOLL			<small>EQUIPAMENTO/TUBULAÇÃO (EQUIPMENT / PIPE)</small> TESTE DE SOLDABILIDADE DO AH36 SEM PRÉ-AQUECIMENTO			
<small>ESPECIFICAÇÃO/NORMA DE REFERÊNCIA (SPECIFICATION / REFERENCE STANDARD)</small> AWS D1.1		<small>PROCEDIMENTO Nº/REVISÃO (PROCEDURE / REVISION)</small> INT-023		<small>DESENHO REFERÊNCIA (REFERENCE DRAWING)</small> N/A		
<small>METAL BASE (BASE METAL)</small> AH 36		<small>METAL ADIÇÃO (ADDITION METAL)</small> E-7018		<small>ESPESSURA (THICKNESS)</small> 25,0 MM		
<small>COLORIDO (COLORED)</small> FLUORESCENTE (FLUORESCENT)		<input checked="" type="checkbox"/>		<small>LAVAVEL EM ÁGUA (WASHABLE WATER)</small> REMOVIVEL COM SOLVENTE (REMOVABLE SOLVENT)		
				<input checked="" type="checkbox"/>		
<small>ANTES DO TT (BEFORE HT)</small>		<small>DEPOIS DO TT (AFTER HT)</small>		<small>NÃO HOUVE TT (THERE WAS HT)</small>		
				<input checked="" type="checkbox"/>		
MATERIAIS UTILIZADOS (USED MATERIALS)						
PRODUTO (PRODUCT)	SOLVENTE (SOLVENT)	PENETRANTE (PENETRANT)	REMOVEDOR (CLEANER)	REVELADOR (DEVELOPER)		
FABRICANTE (MANUFACTURER)	METALCHECK	METALCHECK	ÁGUA	METALCHECK		
TIPO (TYPE)	E-59	VP-30	ÁGUA	D-20		
LOTE (BATCH)	LT-19-0785	LT-19-0691	ÁGUA	LT-19-0689		
VALIDADE (VALIDITY)	30/11/2021	30/09/2022	ÁGUA	30/09/2021		
REGISTRO DOS RESULTADOS (REGISTRATION OF RESULTS)						
SOLDA / PEÇA (WELDING / ITEM)	DESCONTINUIDADES (DISCONTINUITY)					OBSERVAÇÕES (COMMENTS)
	Nº DA JUNTA (NUMBER JOINT)	TIPO DE JUNTA (TYPE OF JOINT)	COTA (QUOTA)	COMPRIMENTO (LENGTH)	LAUDO (RESULT)	
CHAPA 01	1	-	-	-	A	
CHAPA 02	2	-	-	-	A	
CHAPA 03	3	-	-	-	A	
CHAPA 04	4	-	-	-	A	
<small>LEGENDA (ABBREVIATIONS)</small>						
<small>A - APROVADO (APPROVED)</small> <small>R - REPROVADO (REJECTED)</small> <small>REC - RECOMENDAÇÃO DE ENSAIO COMPLEMENTAR (RECOMMENDATION OF COMPLEMENTARY TEST)</small>		<small>PO - POROSIDADE (POROSITY)</small> <small>MO - MORDEDURA (UNDERCUT)</small> <small>SO - SOBREPOSIÇÃO (OVERLAP)</small> <small>FF - FALTA DE FUSÃO (LACK OF FUSION)</small>		<small>FP - FALTA DE PENETRAÇÃO (LACK OF PENETRATION)</small> <small>IL - INDICAÇÃO LINEAR (LINEAR INDICATION)</small> <small>IE - INCLUSÃO DE ESCÓRIA (SLAG INCLUSION)</small> <small>IA - INDICAÇÃO ARREDONDADA (ROUNDED INDICATION)</small>		<small>TT - TRINCA TRANSVERSAL (TRANSVERSAL CRACK)</small> <small>TL - TRINCA LONGITUDINAL (LONGITUDINAL CRACK)</small>
<small>OBSERVAÇÕES: (NOTES)</small> LP REALIZADO APÓS A REALIZAÇÃO DOS PITTING'S						
<small>INSPECTOR: (INSPECTOR)</small> Rafael Macedo da Silva <small>Inspetor de Soldas N1</small> <small>SNQC 185541 N1</small> <small>LP-N2-QPM-N2-S-Y</small> <small>SNQC 28707</small> <small>DATA: (DATE)</small> 12/08/2020		<small>COORDENADOR DO C.Q: (COORDINATOR)</small> <small>DATA: (DATE)</small>			<small>CLIENTE: (CUSTOMER)</small> <small>DATA: (DATE)</small>	

	RELATÓRIO DE ENSAIO POR LÍQUIDO PENETRANTE LIQUID PENETRANT EXAMINATION REPORT		NR: (NUMBER) 001/20
			DATA: (DATE) 12/08/2020
			FOLHA: (SHEET) 02/02
CLIENTE: (CUSTOMER) PLIMSOLL		OBRA/CONTRATO: (PROJECT/CONTRACT) N/A	
LOCAL DO ENSAIO: (LOCATION) PLIMSOLL		EQUIPAMENTO/TUBULAÇÃO: (EQUIPMENT / PIPE)	
		TESTE DE SOLDABILIDADE DO AH36 SEM PRÉ-AQUECIMENTO	
			
LP DOS PITTING'S DAS CHAPAS 01,02,03 E 04			
INSPECTOR: (INSPECTOR) Rafael Macedo da Silva Inspetor de Solda N1 SNGC 185641 N1 LP-N2-GPM-N2-S-Y SNGC 29707 DATA: (DATE) 12/08/2020		COORDENADOR DO C.Q.: (COORDINATOR) DATA: (DATE)	
		CLIENTE: (CUSTOMER) DATA: (DATE)	

Plimsoll		Relatório de Ensaio Não Destrutivo				Nº: 001 - 20	
		PARTÍCULAS MAGNÉTICAS				Data: 12/08/2020	
						Folha: 01/02	
CLIENTE: PLIMSOLL				OBRA / CONTRATO: N/A			
LOCAL DE ENSAIO: PLIMSOLL				EQUIPAMENTO: TESTE DE SOLDABILIDADE DO AH36 SEM PRÉ - AQUECIMENTO			
Norma de Referência: AWS D1.1				Critério de Aceitação: INT-024/AWS D1.1			
Procedimento Nº: INT 024				REV.: 00			
METAL BASE: A H36		METAL DE ADIÇÃO: E-7018		ESPESSURA: 25,0 MM			
Técnica de Magnetização:		Equip. de Magnetização / Nº de Série:		Corrente CC () CA (X)			
Longitudinal		Yoke Y6 MAGNAFLUX / 29907025		Valor: 220 V			
Nível de Iluminação:		Equip. de Iluminação: Luminária		Tempo de Ensaio:			
1080 LUX		Marca: FLC		() Fabricação () Após T.T.			
		Modelo: E-40		(X) Após Solda () Outros			
Ensaio:		Partícula Magnética: SRW 222/O		Tinta de Contraste: 104			
(X) Via Úmida () Via Seca		Marca: Metal Check		Marca: Metal Check			
(X) Colorida () Fluorescente		Concentração: Banho Preparado		Espessura: 10 micras			
Veículo:		Condicionador / Marca:		Valor Decantado:			
Cor da Partícula: Vermelha		Banho Preparado / Spray		Spray (1,2 a 2,4 ml/l)			
		Concentração: 20 a 30 ml/l					
SOLDA / PEÇA	DESCONTINUIDADES					OBSERVAÇÃO / CROQUI	
	Nº	Tipo	Cota	Compr.	Laudo		
CHAPA 01	1	-	-	-	A	INSPEÇÃO POR P.M. 100% DOS PITTING'S SOLDADOS	
CHAPA 02	2	-	-	-	A		
CHAPA 03	3	-	-	-	A		
CHAPA 04	4	-	-	-	A		
LEGENDAS							
A - Aprovado		TL - Trinca Longitudinal		FP - Falta de Penetração			
R - Reprovado		TT - Trinca Transversal		MO - Mordedura			
REC - Recomendação de exame complementar		TR - Trinca Ramificada		SP - Sobreposição			
		FF - Falta de Fusão		PO - Poro ou Porosidade			
INSPETOR		CONTROLE DA QUALIDADE			CLIENTE		
Assinatura		Assinatura			Assinatura		
Rafael Macedo da Silva Inspeção de Solda N1 SNOQ 0105541 N1 LP-N2-QIPM-N2-S-Y SNOQ 29707							
Identificação		Identificação			Identificação		
Data: 12/08/2020		Data: 12/08/2020			Data: 12/08/2020		

	Relatório de Ensaio Não Destrutivo	Nº: 001 - 20
	PARTÍCULAS MAGNÉTICAS	Data: 12/08/2020
CLIENTE: PLIMSOLL	OBRA / CONTRATO: N/A	Folha: 02/02
LOCAL DE ENSAIO: PLIMSOLL	EQUIPAMENTO: TESTE DE SOLDABILIDADE DO AH36 SEM PRÉ - AQUECIMENTO	
		
PM REALIZADO APÓS SOLDAGEM DOS PITTING'S DAS CHAPAS 01,02,03 E 04		
LEGENDAS		
A - Aprovado	TL - Trinca Longitudinal	FP - Falta de Penetração
R - Reprovado	TT - Trinca Transversal	MO - Mordedura
REC - Recomendação de exame complementar	TR - Trinca Ramificada	SP - Sobreposição
	FF - Falta de Fusão	PO - Poro ou Porosidade
INSPETOR	CONTROLE DA QUALIDADE	CLIENTE
Assinatura  Rafael Macedo da Silva Inspetor de Solda N1 SNQC 29707	Assinatura	Assinatura
Identificação SNQC 29707 LP-N2-G/PM-N2-S-Y SNQC 29707	Identificação	Identificação
Data: 12/08/2020	Data: 12/08/2020	Data: 12/08/2020

	RELATÓRIO ENSAIO POR ULTRASSOM (INSPEÇÃO DE SOLDAS) NORMA AWS D1.1				REL Nº: US - 001																														
					FOLHA: 01 DE 02																														
				Nº ANEXOS: N/A																															
				DATA: 26/08/2020																															
CLIENTE: MODEC																																			
LOCAL DE ENSAIO: PLIMSOLL		IDENT. PEÇA / EQUIPAMENTO: Corpos de prova																																	
DESENHO DE REFERÊNCIA: N/A			OS: N/A																																
NORMA DE REFERÊNCIA: AWS D1.1		REV.: 2020	PROCEDIMENTO Nº: INT-031		REV.: 00																														
METAL DE BASE: AH 36		METAL DE ADIÇÃO: E - 7018		ESPESSURA: 25 mm																															
APARELHO / Nº SÉRIE: MITECH 800B/ FD10102206		BLOCO DE REFERÊNCIA: V1/ Bloco de referência		ACOPLANTE: METIL CELULOSE																															
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Pos./Cabeçote</th> <th>SE</th> <th>Nor</th> <th>45°</th> <th>60°</th> <th>70°</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1/2</td> <td>X</td> <td>--</td> <td>--</td> <td>X</td> <td>X</td> </tr> <tr> <td>--</td> <td>--</td> <td>--</td> <td>--</td> <td>--</td> <td>--</td> </tr> <tr> <td>--</td> <td>--</td> <td>--</td> <td>--</td> <td>--</td> <td>--</td> </tr> <tr> <td>--</td> <td>--</td> <td>--</td> <td>--</td> <td>--</td> <td>--</td> </tr> </tbody> </table>			Pos./Cabeçote	SE	Nor	45°	60°	70°	1/2	X	--	--	X	X	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--			
Pos./Cabeçote	SE	Nor	45°	60°	70°																														
1/2	X	--	--	X	X																														
--	--	--	--	--	--																														
--	--	--	--	--	--																														
--	--	--	--	--	--																														
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Cabeçote</th> <th>Ângulo Nominal</th> <th>Ângulo Real</th> <th>Nº de Série</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>MITECH</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>130430</td> </tr> <tr> <td>--</td> <td>--</td> <td>--</td> <td>--</td> </tr> <tr> <td>--</td> <td>--</td> <td>--</td> <td>--</td> </tr> <tr> <td>--</td> <td>--</td> <td>--</td> <td>--</td> </tr> </tbody> </table>			Cabeçote	Ângulo Nominal	Ângulo Real	Nº de Série	MITECH	0	0	130430	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--													
Cabeçote	Ângulo Nominal	Ângulo Real	Nº de Série																																
MITECH	0	0	130430																																
--	--	--	--																																
--	--	--	--																																
--	--	--	--																																
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Cabeçote</th> <th>Ganho de Referência "b"</th> <th>Ganho Varredura</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>MITECH</td> <td>44,0</td> <td>64</td> </tr> <tr> <td>MITECH</td> <td>50,0</td> <td>70</td> </tr> <tr> <td>MITECH</td> <td>47,3</td> <td>67,3</td> </tr> <tr> <td>MITECH</td> <td>48,00</td> <td>68</td> </tr> <tr> <td>--</td> <td>--</td> <td>--</td> </tr> </tbody> </table>			Cabeçote	Ganho de Referência "b"	Ganho Varredura	MITECH	44,0	64	MITECH	50,0	70	MITECH	47,3	67,3	MITECH	48,00	68	--	--	--															
Cabeçote	Ganho de Referência "b"	Ganho Varredura																																	
MITECH	44,0	64																																	
MITECH	50,0	70																																	
MITECH	47,3	67,3																																	
MITECH	48,00	68																																	
--	--	--																																	
Descontinuidades																																			
Solda / Peça / Posição	Síntese	Nº	Cabeçote	Ganho Ind. "a"	Ganho Ind. "c"	Ganho Ind. "d"	Local (mm)	Compr (mm) Defeito	Compr (mm) Solda	Compr (mm) Inspeccionado	Prof. (mm)	Superf.	LAUDO	Observ.																					
Corpo de prova #01	S-61	--	--	--	--	--	--	--	300	300	--	--	A	--																					
Corpo de prova #02	S-61	--	--	--	--	--	--	--	300	300	--	--	A	--																					
Corpo de prova #03	S-61	--	--	--	--	--	--	--	300	300	--	--	A	--																					
Corpo de prova #04	S-61	--	--	--	--	--	--	--	300	300	--	--	A	--																					
Fotos do ensaio																																			
																																			
LEGENDA A - Aprovado R - Reprovado REC - Recomendação de exame complementar				TL - Trinca longitudinal TT - Trinca transversal FF - Falta de fusão				FP - Falta de penetração IE - Inclusão de escória PO - Poro ou porosidade																											
INSPEÇÃO				CONTROLE DA QUALIDADE				FISCALIZAÇÃO																											
ASSINATURA:				ASSINATURA: <i>Rodrigo Borges</i>				ASSINATURA: <i>[Signature]</i>																											
IDENTIFICAÇÃO: RONALD DOS SANTOS SNQ: 2074				IDENTIFICAÇÃO: SUPERVISOR				IDENTIFICAÇÃO:																											
DATA: 26/08/2020				DATA: 26/08/2020				DATA:																											

APÊNDICE F – Ensaios destrutivos

RIO LAB PHASED ENSAIOS	ORDEN DE SERVIÇOS RQ 08-02	Nº. Proposta: ED- RL-333/20	Data OS: 25/09/2020	OS Nº.: 381/20
DADOS DO CLIENTE				
Primeiro Contato: (*) <input type="checkbox"/> SIM <input checked="" type="checkbox"/> NÃO		(*) Preencher campo		
Razão Social(*)/Nome: PLIMSOLL SERVICOS LTDA EPP				
Endereço (*): AV CARLOS LACERDA,690 - ENSEADA DAS GAIVOTAS				
Município(*): RIO DAS OSTRAS		Estado(*): RJ	CEP (*): 28890000	
CNPJ(*): 39.233.457/0001-81		IE/IM(*):		
Contato: DENIO DIAS		Setor:	E-mail: denio.dias@plimsoll.com.br	
Celular:		Telefone: 22 992512020	Fax:	
TIPO DE SERVIÇO				
<input type="checkbox"/> EPS		<input type="checkbox"/> Soldador	<input checked="" type="checkbox"/> Matéria-Prima	<input type="checkbox"/> Enquadramento
ITENS GERAIS				
<input checked="" type="checkbox"/> Chapa	<input type="checkbox"/> Tubo	<input type="checkbox"/> Barra	<input type="checkbox"/> Cantoneira	<input type="checkbox"/> Perfil
<input type="checkbox"/> Limaia	<input type="checkbox"/> Usinado pelo Cliente	<input type="checkbox"/> Outros		
SERVIÇOS SOLICITADOS				Qtd de Amostras: 4
Ensaios Mecânicos	<input checked="" type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não	Norma / Código	ASTM A370-2019e1
<input checked="" type="checkbox"/> Usinagem	<input type="checkbox"/> Compressão	<input type="checkbox"/>	Teste de Carga	Achatamento
<input type="checkbox"/> Tração sem Curva	<input type="checkbox"/> Dobramento	<input type="checkbox"/>	Bridge bend test	Esmagamento
<input checked="" type="checkbox"/> Tração com Curva	<input type="checkbox"/> Nick Break	<input type="checkbox"/>	Fratura	Flangeamento
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Charpy Temp() °C
Ensaios Metalográficos	<input type="checkbox"/> Sim	<input checked="" type="checkbox"/> Não	Norma / Código	
<input type="checkbox"/> Usinagem	<input type="checkbox"/> Réplica Metalográfica	<input type="checkbox"/>	Teste de Corrosão	Análise Quantitativa
<input type="checkbox"/> Macrografia	<input type="checkbox"/> Tipo/Tamanho grafita	<input type="checkbox"/>	Microdureza	Dureza
<input type="checkbox"/> Micrografia	<input type="checkbox"/> Det. Inclusões	<input type="checkbox"/>	Tamanho do grão	Outros ()
Ensaios não Destrutivos	<input type="checkbox"/> Sim	<input checked="" type="checkbox"/> Não		
<input type="checkbox"/> Líquido Penetrante	<input type="checkbox"/> Partículas Magnéticas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Ultra Som	<input type="checkbox"/> Radiografia
Análise Química	<input type="checkbox"/> Sim	<input checked="" type="checkbox"/> Não	Norma / Código	
<input type="checkbox"/> Emissão Óptica	<input type="checkbox"/> Vía Úmida	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Outro	
Tratamento Térmico	<input type="checkbox"/> Sim	<input checked="" type="checkbox"/> Não		
Patamar: _____ horas a _____ °C	Controle: _____ °C	TX.Aquec.: _____ °C/h	TX.Resfr.: _____ °C/h	
Observações / Identificação: (Caso seja insuficiente o espaço abaixo, anexar folha A4 em anexo)				
Nota: Informações em anexo!!				
Análise Crítica:				
<input checked="" type="checkbox"/> Execução sem Restrições	<input type="checkbox"/> Execução com Restrições (Anotar no Verso)	<input type="checkbox"/> Sem condições de execução (Anotar no Verso)		
Data da chegada da amostra: 25/09/2020	Previsão de realização do ensaio: 06/10/2020			
Urgência:	<input checked="" type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não	Condições de pagamento:	
Enviar resultado via fax/E-mail:	<input checked="" type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Antecipado	<input type="checkbox"/> À vista
<input checked="" type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não	<input checked="" type="checkbox"/> Cliente	<input checked="" type="checkbox"/> Faturado -	21 DDL
<input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Fiscalização		
<input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Soc. Classificadora		
Responsável pela abertura da OS:				
Rio Lab Phased Ensaios de Materiais Ltda				
Av. Cesário de Melo, 1465, Senador Vasconcelos - CEP: 23085-110 - Rio de Janeiro / RJ Tel./fax: +55 21 24134459 / 3394-6296 e-mail: laboratorio@riolabensaios.com.br				
Pag: _____				

Pelo presente termo, declaramos ter recebido em devolução os itens conforme abaixo:

Nº. da OS(Rio Lab Ensaios): OS 385/20

Cliente: PLIMSOLL - Rodrigo Borges

Tipo de devolução: CP's ensaiados CP's não ensaiados
 Sobra de material

O material definido acima foi entregue à Empresa Plimsoll - Rodrigo Borges
Borges na data de 07.10.20

Após a devida conferência, atestamos, sob as penas da lei, que ditos itens foram
 entregues em sua totalidade ou faltando os itens:

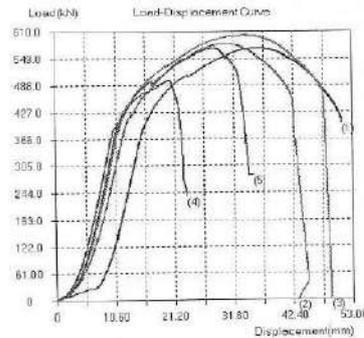
24 CP'S ENSAIADOS

Rio de Janeiro, 07.10.20

Responsável do Cliente: Rodrigo 

RESULTADO DE ENSAIOS

Ensaio: 28399 Data: 7/10/2020 Hora: 10:50
Identificação: OS 381/20
Cliente: PLIMSOLL SERVIÇOS LTDA EPP
Norma: ASTM A 370 - 2019e1
Condições Ambientais °C: 21.5 Umidade Relativa: 45%



RESULTADO(S) DE ENSAIO(S) DE TRAÇÃO

Amostra Nº	Força Máxima	Limite de Resistência	Limite de escoamento	Carga Limite de escoamento	Alongamento	Redução de Área	Área transversal	Dimensões Amostra Lx E	Comprimento
	N	MPA	MPA	N	%	%	mm²	mm	mm
CP 01A	571780.00	565	405	405860.00	47.50	***	1012.00	40.33*25.09	50.00
CP 01C	579025.00	575	410	412870.00	44.50	***	1007.00	40.28*24.99	50.00
CP 02L/F	602735.00	595	405	410265.00	47.00	***	1013.00	40.47*25.02	50.00
CP 03D	497900.00	500	410	405278.00	16.50	***	895.80	39.96*24.92	50.00
CP 04B	572280.00	570	410	411640.00	30.50	***	1004.00	40.35*24.87	50.00
***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
Máximo	602735	595	410	412870	47.5		1013		50
Mínimo	497900	500	405	408278	16.5		895.8		50
Média	564744	561	406	410882.6	37.2		1006.36		50
Desvio Padrão	39438.81327	35.65139602	2.738612706	1752.462211	13.49814802		6.853272611		0

Informações de Ensaio:
TESTE DA SOLDABILIDADE SEM PRÉ-AQUECIMENTO
MATERIAL: CHAPA DE AÇO CARBONO ASTM A131 Gr. AH 36 - # 25.00
PROCESSO: SMAW (E7018)

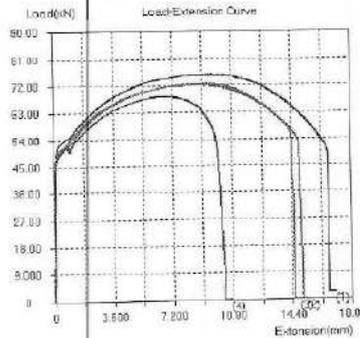
CONFERIDO
Data: 10/10/20
Resp: [Assinatura]

Presente(s):
RODRIGO BORGES - PLIMSOLL
[Assinatura]

[Assinatura]
Vitor de Oliveira Ramos
Técnica Mecânica
Rio Lab Phased Ensaio de Materiais Ltda

RESULTADO DE ENSAIOS

Ensaio: 28398 Data: 7/10/2020 Hora: 10:25
 Identificação: OS 381/20
 Cliente: PLIMSOLL SERVIÇOS LTDA EPP
 Norma: ASTM A 370 - 2019e1
 Condições Ambientais °C: 21.3 Unidade Relativa: 47%



RESULTADO(S) DE ENSAIO(S) DE TRAÇÃO

Amostra Nº	Força Máxima	Limite de Resistência	Limite de escoamento	Carga Limite de Escoamento	Alongamento	Redução de Área	Área transversal	Dimensões Amostra Ø	Comprimento
	N	MPa	MPa	N	%	%	mm²	mm	mm
CP 02B	75823.00	610	405	50341.50	28.50	73.00	124.30	12.58	50.00
CP 03B	72210.00	580	390	48555.00	24.50	68.00	124.50	12.59	50.00
CP 03C	72674.00	580	385	48240.50	23.50	67.00	125.30	12.63	50.00
CP 04A	68365.00	550	375	46612.50	16.00	34.00	124.30	12.58	50.00
***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
Máximo	75823	610	405	50341.5	28.5	73	124.3	12.63	50
Mínimo	68365	550	375	46612.5	16	34	124.3	12.58	50
Média	72298	580	388.75	48437.375	23.125	68.5	124.6	12.596	50
Desvio Padrão	3057.211911	24.49489743	12.5	1928.447999	5.218167401	17.8805711	0.476095229	0.023804761	0

Informações de Ensaio:
 TESTE DA SOLDABILIDADE SEM PRÉ-AQUECIMENTO
 MATERIAL: CHAPA DE AÇO CARBONO ASTM A131 Gr. AH 36 - # 25.00
 PROCESSO: SMAW (E7018)

CONFERIDO
 Data: 19/10/2020
 Resp. [Assinatura]

Presente(s):
 RODRIGO BORGES - PLIMSOLL

[Assinatura]

[Assinatura] Vitor de Oliveira Ramos
 Técnico de Ens. Mecânicos
 Rio Lab Phased
 Ensaio de Materiais Ltda

Vitor de Oliveira Ramos

Técnico Mecânico

DOCUMENTO SEM EFEITO LEGAL - AGUARDAR RELATORIO FINAL

