

Universidade Federal do Rio de Janeiro
Centro de Tecnologia
Escola Politécnica
Engenharia Naval e Oceânica



Melhorias em Qualidade de Solda – Estudo de Caso em Estaleiro

Aluno

Marco André Desbrousses Cotta
DRE: 106041534

Professor Orientador

Annelise Zeemann, D.Sc.



ESCOLA POLITÉCNICA
ENGENHARIA NAVAL E OCEÂNICA



“Melhorias em Qualidade de Solda – Estudo de Caso em Estaleiro”

Projeto Final Submetido Ao Corpo Docente Do Departamento De Engenharia Naval E Oceânica Da Escola Politécnica Da Universidade Federal Do Rio De Janeiro Como Parte Dos Requisitos Necessários Para A Obtenção Do Grau De Engenheiro Naval e Oceânico.

Aprovado por:

Annelise Zeemann, D.Sc.
(ORIENTADOR)

Severino Fonseca da Silva Neto, D.Sc.

Ulisses A. Monteiro, Msc.

Rio de Janeiro, RJ – Brasil
Fevereiro de 2014

Melhorias em Qualidade de Solda – Estudo de Caso em Estaleiro

Marco André Desbrousses Cotta

Fevereiro de 2014

Orientador: Annelise Zeemann D.Sc.

Departamento: Engenharia Naval e Oceânica

Resumo do Trabalho:

Entre as etapas de construção de um navio, a edificação é a mais crítica do ponto de vista da soldagem, devido às posições que não podem ser alteradas, ao ambiente pouco controlado e à dificuldade na preparação e controle dimensional. Estes fatores fazem surgir situações desfavoráveis na soldagem que, mesmo sendo realizada utilizando especificações e procedimentos aprovados, acabam levando a não conformidades e necessidade de retrabalho. Este trabalho apresenta um estudo de caso no estaleiro STXosv onde foi conduzida uma análise crítica das condições que levam a distorções em construções soldadas. A partir da compreensão das causas e identificação dos principais mecanismos de controle, observados em estaleiros do mesmo grupo, é apresentado um procedimento que mostra a sequencia fabril considerada ideal, identificando ainda os principais cuidados na soldagem.

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho a toda minha família que sempre me apoiou em todos os momentos da minha vida. O esforço dos meus pais para me darem a melhor educação possível desde o início para conseguir almejar uma vaga em uma das melhores universidades do país, como é a Universidade Federal do Rio de Janeiro num curso dos mais concorridos, como é a Engenharia Naval.

Outra parte importante responsável por essa trajetória, dedico a namorada e futura esposa, que mesmo com minha ausência nas longas horas de estudo para provas e projetos acadêmicos, sempre me apoiou incondicionalmente.

Agradecimentos

- Professora Annelise Zeemann, pela ajuda fundamental para conclusão do projeto de graduação. Aprendi muito, passei a gostar e ter interesse em solda, pelo empenho que tem em passar conhecimento.
- Professor Severino Fonseca da Silva Neto, pelo apoio dado durante toda faculdade e conhecimento passado de forma brilhante. Também pela presença ilustre na minha banca.
- Professor Ulisses A. Monteiro, pela dedicação a graduação de engenharia naval e presença ilustre na minha banca.
- Engenheiro Paulo Maurício da Rocha, por todo conhecimento e aprendizado quem me foi passado, em quase dois anos que trabalho no estaleiro VARD Niterói.
- Engenheiro Gilberto Pinheiro Junior, pela ajuda com os trabalhos ligados a qualidade de solda no estaleiro VARD Niterói.
- Soldador Anderson Maio de Carvalho, pela realização dos ensaios que estão presentes nesse projeto de graduação.
- Companheiro de graduação Luis Renato Gomensoro, pelos estudos realizados em conjunto.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	8
2. DISTORÇÕES EM SOLDAS DO ESTALEIRO VARD NITERÓI.....	9
2.1. História do Estaleiro Vard Niterói	9
2.2. Evolução do estaleiro VARD Niterói.....	9
2.3. Capacidade de Içamento	13
2.4. Mão de obra	15
2.5. Produção e Retrabalho.....	15
3. GESTÃO DA QUALIDADE	16
3.1. Gestão de Processos	16
3.2. Mapeamento de Processos.....	17
3.3. Não Conformidades e Ações Corretivas	18
4. ESTUDO DE CASO - MELHORIAS EM QUALIDADE DE SOLDA	19
4.1. Não Conformidade Crítica.....	19
4.2. Ação para a CAUSA 1 – Pré-Edificar o Máximo Possível	19
4.3. Ação para a CAUSA 2 – Reduzir as Distorções.....	19
5. PROCEDIMENTOS PARA MINIMIZAR DISTORÇÕES	20
5.1. Sequência de Soldagem em Juntas em Chanfro	21
5.2. Soldas Intermitente em Juntas de Filete	28
6. PROCEDIMENTOS ADOTADOS PARA MINIMIZAR RETRABALHO	35
6.1. Procedimento de Fabricação da Estrutura	36
6.1.1. Objetivo.....	36
6.1.2. Processamento	36
6.1.3. Montagem.....	36
6.1.4. Sub-montagem.....	37
6.1.5. Blocos.....	38
6.1.6. Edificação.....	38
6.2. Técnicas de Soldagem Recomendadas	39
6.2.1. Objetivo.....	39
6.2.2. Preparo de Chanfros.....	39
6.2.3. Ponteamento	39
6.2.4. Soldagem.....	40
6.2.5. Consumíveis	40
6.3. Procedimento para Processos de Desempeno	41
6.3.1. Objetivo e Responsabilidade	41
6.3.2. Escopo	41
6.3.3. Temperaturas Aplicadas.....	41
6.3.4. Regras para o desempenho.....	42
6.3.5. Esquema de Desempeno	44
6.3.5.1. Painéis Planos Com deformação Simétrica	44
6.3.5.2. Painéis Planos com Deformação Assimétrica.....	45
6.3.5.3. Desempeno no Navio	47
7. COMENTÁRIOS FINAIS	48
8. BIBLIOGRAFIA ADOTADA.....	49

LISTA DE ABREVIATURAS E TRADUÇÕES

- 1G – posição de soldagem plana para junta em chanfro
- 2 F – posição de soldagem horizontal para junta de filete
- 4F – posição de soldagem sobrecabeça para junta de filete
- 4G – posição de soldagem sobrecabeça para junta em chanfro
- AHTS - Anchor Handling Tug Supply
- EPI – equipamento de proteção individual
- IEIS – instrução de execução e inspeção de soldagem
- Jig – dispositivo
- LAYOUT – configuração
- NC – não conformidade
- PCP – planejamento e controle de produção
- PERT - Program Evaluation and Review Technique
- PLSV – Pipe Laying Support vessel
- PSV – Platform Supply Vessel
- SGQ – sistema de gestão da qualidade

1. INTRODUÇÃO

Os desafios da indústria naval brasileira para ser competitiva frente às grandes potências mundiais fazem com que a busca por técnicas de construção mais eficientes sejam extremamente relevantes.

Entre as etapas de construção de um navio, a edificação é a parte mais crítica do ponto de vista da soldagem, uma vez que as posições não podem ser alteradas, ao contrário da submontagem e montagem de blocos, onde existe a possibilidade de movimentação dos blocos favorecendo a soldagem com menor grau de dificuldade, permitindo, por exemplo, evitar uma posição sobre cabeça (conhecida como 4F em filete ou 4G em chanfro) e preferencialmente adotar posições planas (2F ou 1G). Além disso, o ambiente é muito menos controlado e existem dificuldades relacionadas ao controle dimensional e de deformações decorrentes de outros processos. Todos estes fatores fazem surgir situações desfavoráveis na soldagem que, mesmo sendo realizada utilizando especificações e procedimentos aprovados, acabam levando a não conformidades e necessidade de retrabalho.

A adoção de técnicas de preparação para a soldagem e montagem; o estabelecimento de sequências de soldagem bem definidas, e a redução da quantidade de solda; permitem minimizar tensões residuais e evitar empenos. O empeno é uma não conformidade estrutural que, apesar de não estar diretamente associada a defeitos de soldagem, pode ser tão grave que exija a substituição do material para ser aprovado pelas classificadoras, o que torna o retrabalho muito caro e demorado.

Por isso a competitividade que a indústria naval brasileira requer envolve entender as causas que levam à distorção e criar ações efetivas para minimizar seus efeitos e reduzir de forma significativa o retrabalho.

A proposta deste projeto é a de realizar uma análise crítica das condições encontradas no estaleiro VARD Niterói que levam a não conformidades em juntas soldadas, através de um estudo de caso. A partir da compreensão das causas que levam à distorção, inclusive históricas com a evolução do estaleiro Vard Niterói, e dos principais mecanismos de controle ou de correção, observados em estaleiros do mesmo grupo, pretende-se apresentar procedimentos que identifiquem os principais cuidados requeridos na fabricação, soldagem e correção de estruturas soldadas (por desempenho), com o objetivo de reduzir os custos de retrabalho. Estes procedimentos, já em uso no estaleiro VARD Niterói, foram baseados em observações e discussões no estaleiro.

2. DISTORÇÕES EM SOLDAS DO ESTALEIRO VARD NITERÓI

2.1. História do Estaleiro Vard Niterói

O estaleiro VARD Niterói iniciou suas atividades em 12 de fevereiro de 1996, como Estaleiro Promar 1, utilizando parte do antigo Estaleiro Mauá (pertencente a Cia. de Comércio e Navegação). Desde 20 de agosto de 1997 a Vard Niterói utiliza uma área na ilha da Conceição, onde hoje, funciona como um todo.

Em 04 de julho de 2001 o Estaleiro passou a chamar-se Aker Promar e a fazer parte do Grupo Aker Kvaerner Yards, Empresa Norueguesa que congrega 16 estaleiros em todo o mundo. Em 03 de novembro de 2008 o Estaleiro passou a ser conhecido pelo nome: STX BRAZIL OFFSHORE AS fazendo parte do Grupo STX OSV.

Em 05 de março de 2013, o Estaleiro passou a chamar-se Vard Niterói S.A..

O estaleiro adquiriu tradição e experiência no mercado naval. Ele oferece aos seus clientes além da Construção, um completo serviço nas áreas de reparo naval em navios mercantes, embarcações e estruturas offshore, conversões, jumborização, reparos gerais.

O Estaleiro tem mão de obra qualificada e direção profissional. Seu objetivo é oferecer rapidez na execução dos serviços com condições comerciais atraentes, incluindo financiamento em longo prazo.

2.2. Evolução do estaleiro VARD Niterói

O estaleiro VARD Niterói começou como um estaleiro de reparo quando a indústria naval brasileira estava em crise em meados da década de noventa. Teve seu começo com o antigo estaleiro Promar que inicialmente usou as instalações do estaleiro Mauá e mais tarde passou a ser localizado na Ilha da Conceição usando as instalações do antigo estaleiro Inconave, que fazia pequenos rebocadores e barcos de pesca.

O estaleiro Promar começou com trabalhos de reparo de embarcações de apoio de pequeno porte, figura 1. Nessa época, com os estaleiros fechando, ele conseguiu reunir bons profissionais de todas áreas e formou um equipe de excelência. Em pouco tempo gerou interesse de um grupo de americano e o estaleiro foi comprado pelo Aker, recebendo investimentos que o transformaram e possibilitaram a construção de embarcações de apoio. Uma carreira longitudinal foi construída para lançar navios do porte que seria construído inicialmente, e a infraestrutura foi montada para atender a esses navios e com um efetivo máximo de quatrocentas pessoas.



Figura 1 - Estaleiro Promar em sua primeira fase, operando em reparo.

Os primeiros navios de apoio *offshore* eram muito pequenos em comparação aos construídos atualmente. Um exemplo de navio construído no estaleiro é o PSV (Platform Supply Vessel) PROMAR-16, figura 2, com as dimensões da tabela 1.

Tabela 1 – Dimensões do PROMAR-16.

L.O.A.	71.90m
L.P.P.	66.80m
BREADTH MLD.	16.00m
DEPTH MAIN DK.	7.00m
DESIGN DRAFT	5.00m
MAX. DRAFT	5.80m

Entretanto os navios de apoio ao longo do tempo foram ficando cada vez maiores, evoluíram acompanhando a necessidade de ser ter maior autonomia para atender os campos de petróleo cada vez mais distantes da costa e também embarcar uma quantidade cada vez maior de equipamentos necessários para as mais diferentes finalidades. Cada vez mais as embarcações de apoio marítimo foram ficando especializadas, subdividindo as embarcações em três grupos principais: AHTS, PLSV e PSV. Desse grupo surge uma infinidade de configurações que atendem a especificações do armador, em sua grande maioria a editais da Petrobrás. A figura 3 mostra a evolução das embarcações construídas pelo estaleiro.

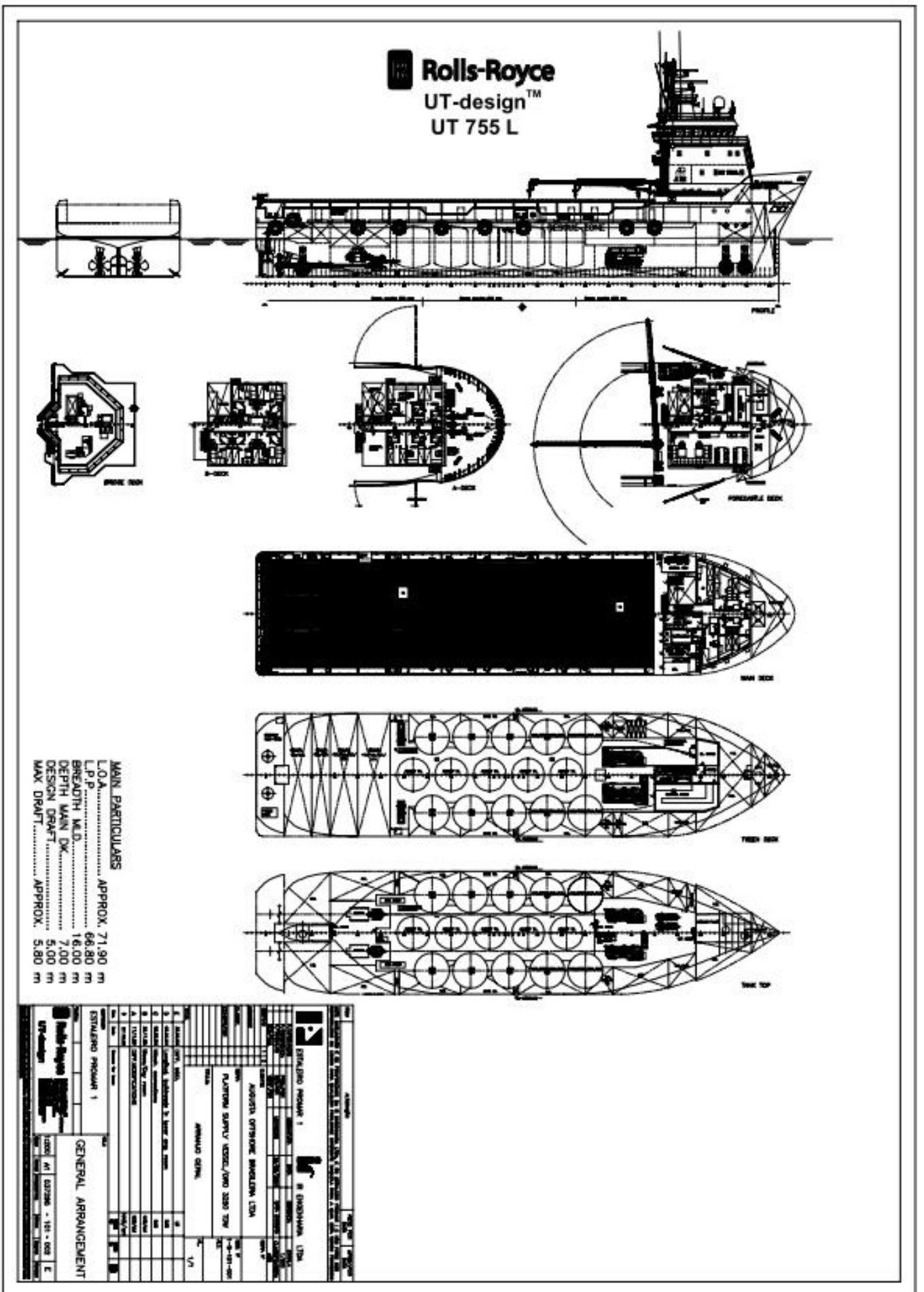


Figura 2 - Arranjo Geral do PRO-16, exemplo de navio do estaleiro Aker.



Figura 3 - Evolução das embarcações construídas pelo estaleiro.

O estaleiro mais tarde foi comprado pelo grupo de estaleiros STX, o que contribuiu para o maior conhecimento na construção de embarcações de apoio *offshore*. Nesse momento o estaleiro passou a construir embarcações cada vez maiores e mais complexas quanto à quantidade de equipamentos e estruturalmente.

Uma embarcação que pode exemplificar claramente o avanço do porte das embarcações construídas pelo estaleiro foi o PLSV (Pipe Laying Support Vessel) PROMAR 23, com a dimensões da tabela 2.

Tabela 2 – Dimensões do PROMAR-23.

L.O.A.	150.20 m
L.P.P.	123.00m
BREADTH MLD.	27.00m
DEPTH MAIN DK.	12.00m
DESIGN DRAUGHT	6.50m
MAX. DRAUGHT	8.50m

Apesar do crescimento do porte dos navios a infraestrutura não acompanhou a complexidade das construções, tendo sido adotadas medidas paliativas para contornar as dificuldades encontradas durante os processos de fabricação. O estaleiro passou a não ter área suficiente para submontagem, montagem, pré-edificação de todos os blocos

necessários para a construção das embarcações, passando a ser necessário subcontratar muitos blocos em outras empresas, fabricar em outros lugares e transportar para o estaleiro, muitas vezes subdivididos, para serem pré-edificados no estaleiro, sem pintura, tubulação, acessórios e equipamentos instalados, diminuindo a produtividade dos processos. Isso significa também que a logística passou a ser complexa e o custo de transporte elevado.

2.3. Capacidade de Içamento

Outro problema que contribui para a baixa produtividade está no baixo índice de acabamento avançado aplicado. Este problema foi identificado, mas é de difícil tratamento devido às limitações do estaleiro quanto à capacidade de içamento dos guindastes. O estaleiro possui dois guindastes em esteiras tipo Manitowoc 999 Série3, com configuração de lança de 45,7m e moitão que permite 8 reduções com uma capacidade máxima de 83,89 tf; e outro guindaste também Manitowoc 999 Série3, com configuração de lança de 54,9m e moitão que permite 6 reduções com uma capacidade máxima de 66,87 tf. Desta forma podem-se fazer manobras de virada de bloco e movimentações com as duas máquinas, mas existem restrições em determinadas posições na edificação na carreira, o que gera uma quantidade grande de trabalho extra na montagem de andaime e abertura para instalação de equipamentos depois dos blocos já edificados, e até mesmo depois da embarcação lançada.

A carreira foi projetada para um peso máximo inicial de 2.200 toneladas, mas sofreu uma reforma depois de quebrar com o lançamento de um navio, e teve sua capacidade máxima estendida para 2.800 toneladas.

O estaleiro passou muito da capacidade produtiva para a qual foi projetado, e hoje tem dois mil funcionários. No passado o estaleiro trabalhava com três navios simultaneamente, um navio no cais em acabamento e comissionamento, outro na carreira em edificação e outro em processamento e submontagem. Atualmente, o estaleiro possui três navios no cais em acabamento e comissionamento, um navio na carreira e outro em processamento. O número de navios no cais aumentou pois o grupo tem outros estaleiros e estão lançando os navios para acabamento no estaleiro VARD Niterói. Embora a infraestrutura esteja subdimensionada a escolha de realizar o acabamento no VARD Niterói é justificada pela mão-de-obra altamente especializada, o que torna este um dos melhores acabamentos do grupo VARD no mundo.

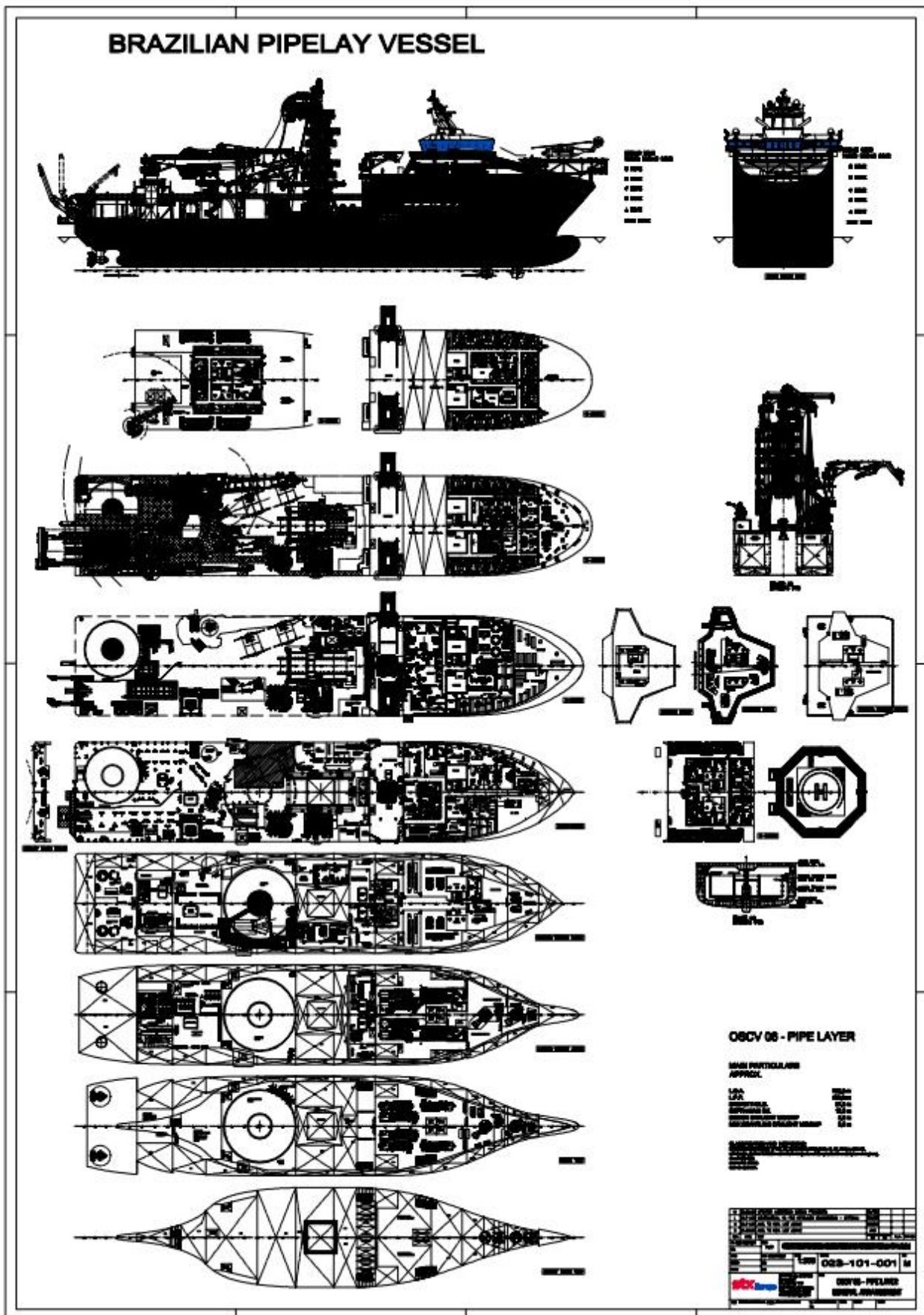


Figura 4 - Arranjo Geral do Navio PROMAR 26, exemplo de navio atual.

O grande porte dos navios atuais e a baixa capacidade produtiva do estaleiro em Niterói associada a suas limitações fabris exigiram do grupo a medida de investir em um novo estaleiro em Recife, VARD Promar, projetado para tornar viável economicamente a construção de navios de apoio cada vez maiores.

Neste sentido o governo brasileiro foi o grande impulsionador da retomada da construção naval nacional, subsidiando a construção de novos estaleiros e criando a demanda para construção, permitindo que apenas navios construídos no Brasil possam operar no apoio *offshore* da exploração de petróleo na costa do Brasil.

2.4. Mão de obra

Apesar de ter mantido uma equipe especializada o estaleiro VARD Niterói hoje enfrenta um grande desafio, pois a defasagem de anos de estaleiros fechados fez com que as pessoas migrassem para outras indústrias e quase extinguiu os cursos de formação de novos profissionais. Além disso, existiu um envelhecimento da mão-de-obra e mais do que nunca existe a preocupação das empresas em renovar seus quadros, mas muitas vagas ainda não estão ocupadas por falta de qualificação de mão-de-obra. Cabe, sem dúvida, reforçar que bons profissionais que estavam aposentados ou trabalhando nos poucos estaleiros que restaram, espalhados pelo Brasil, viabilizaram a retomada da indústria naval, mas esses profissionais estão parando suas atividades de vez e um dos grandes desafios dos estaleiros está na qualificação da mão-de-obra.

2.5. Produção e Retrabalho

Foi feito um breve estudo nos índices de produtividade do estaleiro buscando compreender de que forma os processos produtivos poderiam ser melhorados. Não precisou de um levantamento muito apurado para evidenciar que a área de solda é conhecida como responsável pelo maior índice de retrabalho do estaleiro. Um dos principais problemas encontrados está relacionado aos dimensionais inaceitáveis.

Apesar de utilizar procedimentos de soldagem previamente qualificados e aprovados, as estruturas que apresentavam grandes deformações e eram rejeitadas exigindo muitas vezes um completo retrabalho, demorado e caro.

Para compreender a natureza do problema foram analisadas as causas destas distorções e constatou-se que existia uma ineficiência na edificação dos blocos na carreira, mais especificamente em emendas de blocos, apresentando sempre grandes

aberturas. Este problema é decorrente de deformações provocadas pelo processo de soldagem e principalmente da presença de tensões residuais em condições de restrições em toda a estrutura.

A ausência de um procedimento específico para promover o tratamento de alívio de tensões em cada etapa do processo de montagem e submontagem, aliada a uma grande quantidade de divisões de blocos e baixo nível de controle dimensional, eram responsáveis pelas grandes aberturas e deformações nas emendas de bloco. Este tipo de problema procura ser corrigido deixando um dimensional maior, para permitir a contração do material no processo de soldagem, mas esta medida nem sempre é efetiva. Aproximadamente 30% das emendas têm sofrido retrabalho devido a deformações geradas por grandes aberturas.

Em uma análise rápida ficou claro que o grande equívoco foi o de construir embarcações de grande porte com um tratamento que somente é válido para embarcações de pequeno porte, e mais do que melhorias focadas na qualidade da solda (como um processo em si) ficou evidente a necessidade de estudar os métodos construtivos e tentar padronizar um sistema organizado e padronizado para cada departamento, através de um mapeamento de processos e da definição de como devem ser realizadas as tarefas.

Controlar este tipo de problema no estaleiro (as distorções) tornou-se fundamental e, mesmo não sendo dimensionado para construir navios de grande porte, ficou claro que o caminho que o estaleiro STXosv deveria seguir envolveria melhorias no sistema de gestão da qualidade e adoção de técnicas construtivas mais adequadas.

3. GESTÃO DA QUALIDADE

3.1. Gestão de Processos

A Gestão por processo, como parte integrante do modelo de gestão, compreende a visão integrada de todas as atividades. Pode-se falar que é uma forma de organização do trabalho que permite que as pessoas integrantes do processo tenham uma visão do fluxo de trabalho de uma forma linear, independente do local onde são executadas as diversas atividades. O modelo organizacional representa a forma como o trabalho será dividido e as responsabilidades distribuídas entre gestores do estaleiro, de forma a atingir os objetivos e metas determinados pela estratégia.

O foco da gestão está direcionado de forma a comunicar a estratégia por todo o estaleiro, alinhando objetivos e metas com a estratégia, que é continuamente revisada de forma a melhorar o desempenho.

Pode-se dividir a gestão em três fases bem distintas:

1. A primeira fase envolve o planejamento e a organização, sendo que nesse momento o processo é descrito e tem-se a oportunidade de fazer uma avaliação do desempenho esperado, identificando as necessidades e os requisitos;
2. A segunda fase compreende diagnóstico do processo, além da elaboração e implementação de um plano de melhoria do processo;
3. A terceira fase refere-se ao acompanhamento e controle das ações de melhorias aliado a avaliação e controle de processo.

Ao final reinicia-se o ciclo de forma a permitir uma visão sistemática do processo e evidenciar a existência de uma interdependência entre fornecedores, executores e armadores, como parte de uma cadeia de atividades destinadas a melhorar resultados.

3.2. Mapeamento de Processos

O mapeamento de processos é uma técnica para detalhamento dos processos em um determinado processo produtivo focando os elementos mais importantes, que influenciam no resultado final. A forma que o fluxo de processos é organizado é importante, pois transforma um simples *layout* de estaleiro em uma série de processos, tentando reduzir distâncias entre operações, melhorando o aproveitamento do espaço e reduzindo o tempo de produção.

Mapear processos ajuda a identificar os gargalos da produção, fornecendo uma linguagem comum para lidar com os processos de fabricação, tornando as decisões sobre o fluxo visíveis, de forma a tornar possível o debate sobre elas e tentando agregar conceitos e técnicas inerentes ao processo, formando uma base para a implementação de melhorias.

A fase de representação dos processos contou com entrevistas de pessoas de maior experiência em cada processo, tentando captar com fidelidade o trabalho executado. Em outra fase fez-se uma análise do processo, cuja importância se deve ao fato de permitir uma contínua conexão com o mercado externo e com todos os níveis da empresa e as necessidades do armador. A partir daí seguiu-se com o desenvolvimento de soluções, avaliações de alternativas e aprovação de proposta.

A melhoria do processo foi a última fase, onde abordou-se a avaliação da situação dos processos e como promover melhorias. Foram consideradas, para isso algumas etapas, como: verificação do plano de melhorias, implementação das soluções ótimas e monitoramento de resultados, essa última fase buscou garantir que falhas que foram identificadas fossem profundamente analisadas e solucionadas.

O departamento de estrutura foi o primeiro a ser mapeado pois era o que tinha maior número de não conformidades e problemas relacionados à gestão. Sempre que as etapas de um processo são detalhadas é possível avaliar melhor os problemas.

A norma ISO 9001:08 “Sistema de Gestão da Qualidade” define processo com sendo o conjunto de atividades inter-relacionadas ou interligadas que transformam insumos (entradas) em produtos ou serviços (saídas). O mapeamento de processo é um ferramenta de gestão e de comunicação, com a finalidade de fazer a descoberta das informações entre as partes interessadas e determinar a necessidade de recursos necessários para atender os processos. O objetivo do mapeamento de processos é identificar e reconhecer os processos do estaleiro para melhorar a qualidade do produto e principalmente, reduzir custos e aumentar o desempenho da organização.

3.3. Não Conformidades e Ações Corretivas

O “produto não conforme” corresponde ao produto, ou serviço, que não atende aos requisitos preestabelecidos pelo Sistema de Gestão da Qualidade (SGQ) com base nas características exigidas ao produto/serviço.

Um relatório de não-conformidade (NC) é um documento que estabelece a forma de detecção, identificação e tratamento de produtos/serviços não conformes e determina a sistemática de tratamento imediato para correção da não conformidade (disposição), além de sugerir as ações corretivas que devem ser adotadas para evitar futuros problemas.

O tratamento imediato de uma NC pode ser, por exemplo: reparar mediante concessão do cliente, retrabalhar, aceitar no estado em que foi produzido mediante concessão do cliente. Após as disposições terem sido implementadas, quando aplicável, o produto deverá ser reinspecionado.

Uma ação corretiva define as providências a serem tomadas para prevenir futuras NCs similares em um produto/serviço.

4. ESTUDO DE CASO - MELHORIAS EM QUALIDADE DE SOLDA

4.1. Não Conformidade Crítica

Considerando que a não conformidade (NC) mais crítica verificada no estaleiro VARD Niterói está relacionada com as grandes distorções geradas nas emendas de blocos na edificação, que em cerca de 30% dos casos exige retrabalho e atrasa o lançamento do navio, entende-se que minimizar este tipo de problema gera um ganho expressivo e é a medida mais urgente.

Existem diversas técnicas para a análise e definição da causa raiz e após o estudo o estaleiro identificou duas causas básicas, que são:

CAUSA 1 Não ser possível edificar com blocos grandes (e pesados), o que seria o ideal, pois o porte dos navios construídos excede a infraestrutura e espaço do estaleiro. Este fato implica em que os navios sejam subdivididos em muitas unidades, com muitas emendas entre blocos para serem feitos na edificação. Isso, além de causar grandes retrabalhos, baixa em muito a produção do estaleiro pelo simples fato de que a carreira é uma área nobre do estaleiro, e quanto mais rápido se lançar um navio mais rápido pode-se começar outro. Por isso pré-edificações são tão importantes para ganho de produtividade e identificação de problemas neste estágio da construção são realmente críticos.

CAUSA 2 O ajuste e o alinhamento de elementos estruturais nas emendas de blocos não são triviais, e garantir que os blocos sejam construídos com o menor nível de tensões residuais e transferidos com o menor nível de distorções é determinante na qualidade da soldagem.

4.2. Ação para a CAUSA 1 – Pré-Edificar o Máximo Possível

A ação para minimizar os efeitos de edificar muitos blocos envolve necessariamente planejar e pré-edificar os blocos o máximo possível, sendo importante ter ótima gestão e excelente logística para posicionamento do bloco na edificação.

4.3. Ação para a CAUSA 2 – Reduzir as Distorções

As soldas realizadas podem armazenar elevados níveis de tensões residuais e estas tendem a relaxar (por deformação) em diversos momentos causando distorções. Para minimizar as distorções são necessários cuidados no planejamento da soldagem, onde algumas recomendações baseadas em simulações de solda estão apresentadas (tópico 5); e cuidados na previsão, controle e correção de empenos, através da adoção de procedimentos (identificados no tópico 6).

5. PROCEDIMENTOS PARA MINIMIZAR DISTORÇÕES

O efeito de tensões residuais em construções soldadas pode levar a grandes distorções dependendo das energias impostas, como mencionado por Teng et Alli, 2003; e dois fatores importantes, que até então tinham sido pouco explorados no estaleiro VARD Niterói, são a sequência de soldagem em juntas em chanfro; a quantidade de solda depositada em filetes de solda de junta em ângulo, através do uso de cordões intermitentes.

No sentido de evidenciar estes efeitos foram simulados corpos-de-prova com diferentes técnicas de soldagem, em chapas soldadas em chanfro, mantendo um lado preso e deixando o outro lado livre para que se pudesse medir, com um calibre micrométrico, a altura do empeno em relação à bancada; e em chapas soldadas em filete, em ângulo reto, da mesma forma medindo o empeno.

Foram testados basicamente:

- Diferentes sequências de soldagem de chanfro, fazendo com que o arco encontrasse a chapa em diferentes condições de pré-aquecimento (solda progressiva, passe a ré e simétrica, no tópico 5.1). Neste caso é possível verificar que quando a solda encontra material frio e segue na direção mais fria (simétrica) é onde basicamente se encontram as menores distorções, embora que a que foi considerada com melhor resultado foi a soldagem passe-à-ré pois sua deformação foi simétrica no corpo de prova.
- Diferentes quantidades de solda de filete, comparando soldas intermitentes e soldas contínuas (no tópico 5.2). ; sendo que neste último caso somente se pode adotar a técnica de menor distorção (intermitente) caso o projeto preveja este tipo de união. A questão é que muitas vezes deixa-se de adotar técnicas de menor distorção pelo trabalho inicial de montagem e marcação (pois as soldas intermitentes requerem comprimentos bem estabelecidos antes da soldagem). Para evitar montagens mais elaboradas no início do processo produtivo muitas vezes são causadas distorções, que geram retrabalho, detectado no final do processo produtivo, na edificação.

5.1. Sequência de Soldagem em Juntas em Chanfro

Para a simulação das soldagens feitas com diferentes sequencias foram utilizados corpos-de-prova similares aos apresentados por Teng et al.,2003, figura 5, em seu modelo computacional, correspondentes às técnicas de (a) soldagem progressiva, quando o arco segue continuamente e a chapa vai sofrendo um pré-aquecimento contínuo; (b) soldagem passe a ré, quando a soldagem é iniciada no final da chapa e a cada vez que se solda um determinado tamanho o arco é extinto e aberto em um ponto da chapa que ainda está frio, seguindo na direção do passe anterior; e (c) soldagem simétrica, quando a soldagem é iniciada no centro da chapa e segue em direções opostas, também parando o arco e abrindo-o em um ponto frio.

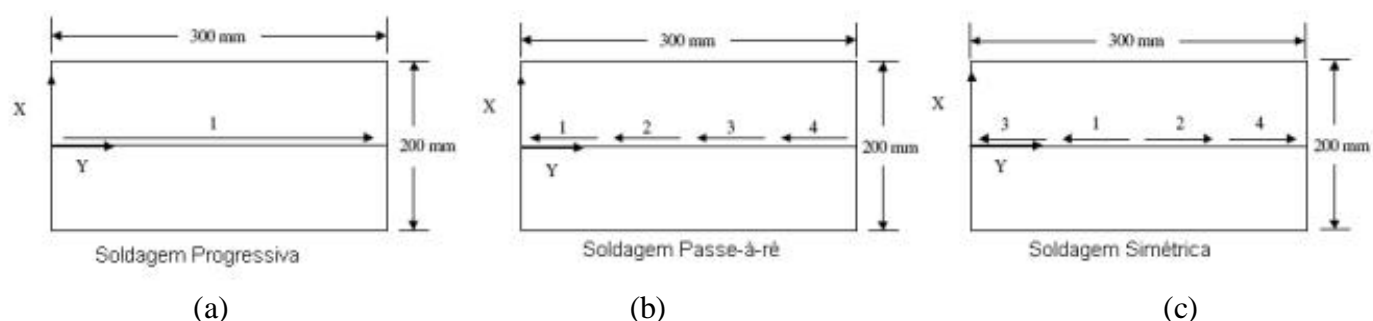


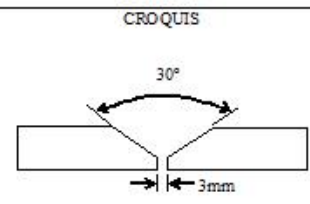
Figura 5 –Esquema de testes de Teng et al.,2003, modificado.

Para as simulações da soldagem com diferentes sequências foi utilizada a instrução de soldagem (IEIS) da figura 6, e as figuras 7 a 10 mostram as dimensões utilizadas nos corpos-de-prova. Os ensaios foram feitos com o mesmo soldador, com a máquina sendo calibrada com os mesmo parâmetros, adequados à espessura e ao tipo de chanfro, qualificados pela classificadora e usados na produção do estaleiro, e o soldador também estava devidamente qualificado para soldar na posição adotada, plana (1G). A chapa de aço utilizada é do tipo ASTM A 36 e corresponde à especificada pela (DNV) Det Norske Veritas, sociedade classificadora dos navios construídos no estaleiro.

As figuras 11 a 13 ilustram os corpos-de-prova com as marcações para a soldagem e a figura 14 mostra a forma como foram medidas as distorções.

Os resultados das alturas que caracterizam as distorções ao longo da junta (os pontos foram medidos em diferentes posições longitudinais ao longo da solda), estão apresentados na tabela 3 e ilustrados graficamente na figura 15.

VARO		I.E.I.S.				Nº: 07/13		REV.: A			
a fidelidade company		INSTRUÇÃO DE EXECUÇÃO E INSPEÇÃO DE SOLDAGEM				DATA: 02/08/13		FOLHA: 1/1			
UNIDADE: PRO-33		Nº RQPS: PRM - 023		Nº EPS: PRM - 023		DOC. REF.: Germanischer Lloyd					
SERVIÇO:		EQUIPAMENTO:		CLASSE PRESSÃO:		PRODUTO:		TEMPERATURA:			
EMENDAS DE TOPO		ESTRUTURAL/ACESSÓRIO DE AÇO		MATERIAL (1): NVA		PN		Gr. 1			
				MATERIAL (2): NVA		PN		Gr. 1			
VARIÁVEIS DE SOLDAGEM											
Passe	Camada	Processo	Classe	Fabricante	Ref. Comercial	Diam (mm)	Corrente Polaridade	Faixa Amp.	Faixa Volt.	Oscil Max.	
Raiz	1	FCAW	E71T1	ESAB	DUAL SHIELD 7100LH	1,2	CC-	150-220	28/29	-	
Ench.	1	FCAW	E71T1	ESAB	DUAL SHIELD 7100LH	1,2	CC-	150-220	28/29	-	
Acab.	1	FCAW	E71T1	ESAB	DUAL SHIELD 7100LH	1,2	CC-	150-220	28/29	-	
Gás	Tipo	%	Fabric.	Ref. Comercial	Vazão l/MIN	Pré-aquecimento	Temperatura Interpasse	Pos-aquecimento			
Tocha	CO2	99,5	W. MARTINS	ONU1013	15-20	> 21°C	< 250°C	-			
Purga	-	-	-	-	-	-	-	-			
Tratamento térmico			Inspeção								
Temperatura de Patamar	NA		Localização	Tipo	%	Tipo	%	Tipo	%	Tipo	%
Taxa de Aquecimento	NA		Chanfro	VA	100	-	-	-	-	-	-
Tempo de Patamar	NA		Após Soldagem Raiz	-	-	-	-	-	-	-	-
Taxa de Resfriamento	NA		Após Goivagem	VS	100	-	-	-	-	-	-
Temperatura de Controle	NA		Após cada camada	-	-	-	-	-	-	-	-
Diferença entre termopares	NA		Após Acabamento	VS	100	US	SPOT	-	-	-	-
Dureza Máxima	NA		Após tratamento térmico	-	-	-	-	-	-	-	-
VS - Visual de Solda	LP - Líquido Penetrante	TP - T. Pneumático	PT - T. Pontos								
VA - Visual de Ajuste	PM - Partícula Magnética	TE - T. Estanqueidade	ED - Dureza								
DM - Dimensional	US - Ultra-Som	TV - Teste de Vácuo									
RX - Gamagrafia	TH - Teste Hidrostático	TF - Teste de Fumaça									
Inspetor do Controle da Qualidade			Chefe do Controle da Qualidade				Cliente				
Ass.			Ass.				Ass.				



Tipo de Junta: TOPO
 Pos. 1G
 Diâm. ... Esp.: TODAS
 Diâm. ... Esp.: ...
 Limpeza: Escova rotativa e/ou manual, para aço carbono.
 Observações:
 VERIFICAR PLANODE NDT

Figura 6 – Instrução de Execução e Inspeção de Soldagem usada na simulação.



Figura 7 – Dimensões dos corpos-de-prova – comprimento de 300mm.

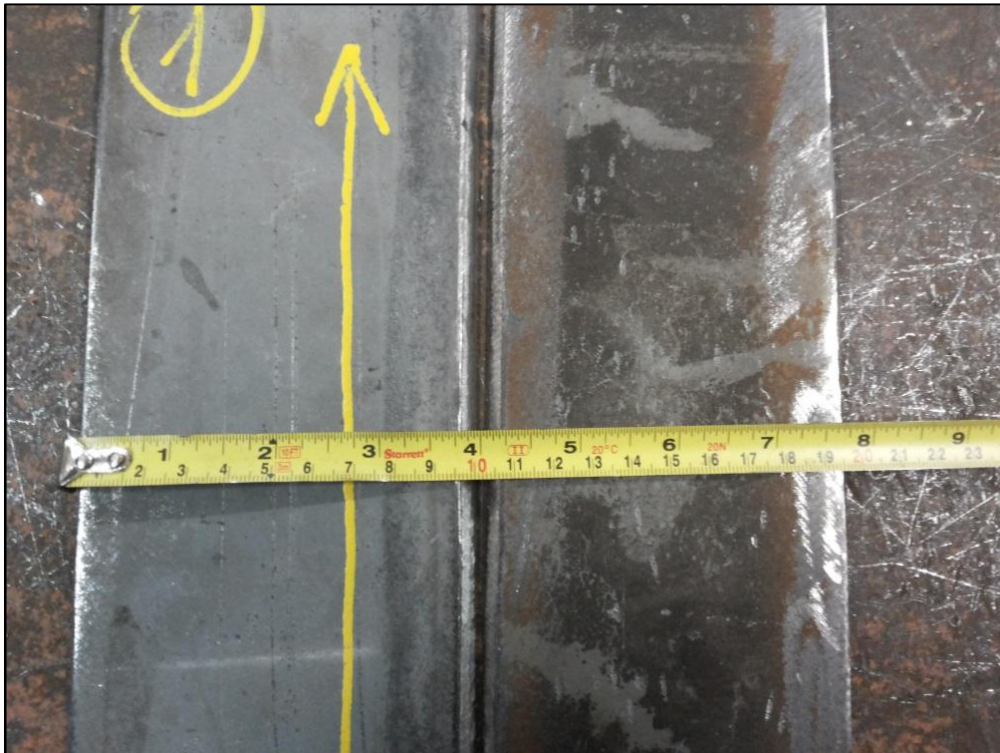


Figura 8 – Dimensões dos corpos-de-prova-largura de 200 mm.



Figura 9 – Dimensões dos corpos-de-prova - espessura de 8 mm.



Figura 10 – Dimensões dos corpos-de-prova - ângulo do chanfro 30°.



Figura 11 – Solda progressiva, onde o soldador promove a solda de forma contínua, sem parar



Figura 12 –Pós execução da solda passe à ré, onde o soldador promove a solda puxando o cordão de solda e parando para correr a mão. A marcação na foto indica onde começou a solda e seguindo a seta na sequência numérica.



Figura 13 –Pós execução da solda passe à ré, onde o soldador promove a soldagem do meio para as pontas de forma intercalada. A marcação da mesma forma que o anterior indica o onde começou e terminou cada passe seguindo a sequência numérica.



Figura 14 – Medição das deformações provocadas por cada técnica de soldagem. Uma das bordas da chapa foi presa longitudinalmente na bancada e na outra borda que estava livre foi medida a altura de afastamento da chapa à bancada.

Tabela 3 – Alturas (em milímetros) medidas para as três condições ensaiadas.

posição ao longo dos 300mm de comprimento da junta	soldagem progressiva	soldagem passe a ré	soldagem simétrica
0	8,0	6,5	6,0
25	8,5	7,0	6,5
50	9,0	6,5	7,0
75	9,5	8,0	7,5
100	9,5	8,5	8,0
125	10,0	8,5	9,0
150	10,0	8,5	9,0
175	10,0	8,5	9,0
200	9,5	8,5	8,0
225	9,5	8,0	7,5
250	9,5	7,5	7,5
275	9,0	7,0	7,0
300	8,5	6,5	6,5

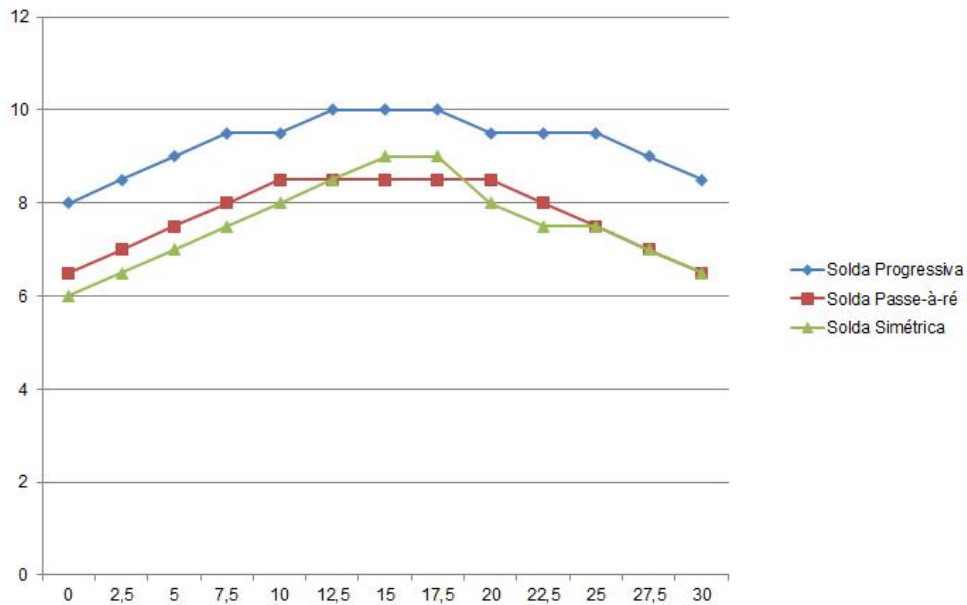


Figura 15 –Gráfico que evidência a diferença de deformação entre os processos.

Os resultados obtidos por Teng et al. no modelamento mostram tensões residuais, figura 16, e os resultados obtidos neste trabalho, figura 15, mostram deformações (em milímetros) que surgem pelo relaxamento das tensões, mas é possível ver que realmente a menor energia total (arco + pré-aquecimento) da solda simétrica, é a que evidencia menores tensões e menores deformações, embora a soldagem segundo esta técnica seja mais controlada e isto possa impactar no tempo de soldagem.

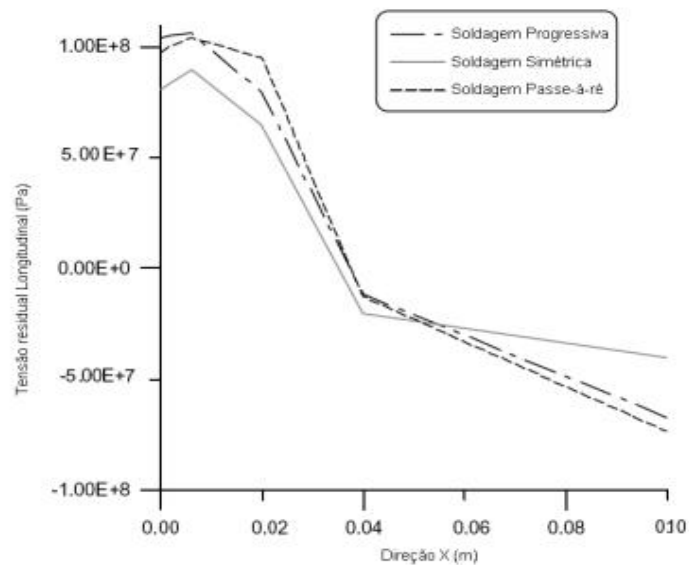


Figura 16 –Gráfico de Teng et al,2003, modificado.

5.2. Soldas Intermitente em Juntas de Filete

O uso de soldas intermitentes em locais onde não é necessária estanqueidade e onde não existem grandes solicitações mecânicas, é recomendado mas nem sempre este procedimento é realizado.

Os testes realizados nestas condições simulam a instalação de reforços em um painel. A montagem dos corpos de prova foi feita soldando a chapa que fez o papel do reforçado sendo fixado na bancada através de barras que não permitiriam sua movimentação e a chapa com um metro de comprimento e vinte milímetros de largura ficaria livre para deformar. A chapa que fez o papel de reforçador, para ambos os corpos de prova, é de espessura dez milímetros; e a chapa de base é de oito milímetros, ambas do grau ASTM A36 especificado pela DNV (Det Norske Veritas), sociedade classificadora dos navios construídos no estaleiro. Da mesma forma dos testes anteriores foi utilizado procedimento para soldagem qualificado (IEIS na figura 17) e máquina de solda regulada de forma similar. O soldador é qualificado para a soldagem nessa posição horizontal (2F).

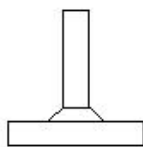
I.E.I.S.										Nº: 04/13		REV.: A		
INSTRUÇÃO DE EXECUÇÃO E INSPEÇÃO DE SOLDAGEM										DATA: 02/08/2013		FOLHA: 1/1		
UNIDADE: PRO-33			N.º RQPS: PRM - 021			N.º EPS: PRM - 021			DOC. REF.: GL.		PRODUTO: TEMPERATURA:			
SERVIÇO: Anteparas/Perfis/Reforços			EQUIPAMENTO: Estrutural/Acessório de Aço/Tubulação			CLASSE PRESSÃO:			PNº		Gr. 1			
						MATERIAL (1): NVA			PNº		Gr. 1			
						MATERIAL (2): NVA								
VARIÁVEIS DE SOLDAGEM										<p style="text-align: center;">CROQUIS</p> 				
Passo	Camada	Processo	Classe	Fabricante	Ref. Comercial	Diam (mm)	Corrente Polaridade	Faixa Amp.	Faixa Volt.					Oscil Max.
Raiz	1	FCAW	E71T1	ESAB	DUAL SHIELD 7100SM	1,2	CC+	140-280	28/29					-
Ench.	1	FCAW	E71T1	ESAB	DUAL SHIELD 7100SM	1,2	CC+	140-280	28/29					-
Acab.	1	FCAW	E71T1	ESAB	DUAL SHIELD 7100SM	1,2	CC+	140-280	28/29					-
Gás	Tipo	%	Fabric.	Ref. Comercial	Vazão l/MIN	Pré-aquecimento	Temperatura Interpasse	Pos-aquecimento						
Tocha	CO2	99,5	W. MARTINS	CNU1013	15-20	> 21°C	< 250°C	-						
Purga	-	-	-	-	-	-	-	-						
Tratamento térmico			Inspeção											
Temperatura de Pasmar	NA	Localização	Tipo	%	Tipo	%	Tipo	%	Tipo					%
Taxa de Aquecimento	NA	Chanfro	VA	100	-	-	-	-	-	-				
Tempo de Pasmar	NA	Após Soldagem Raiz	-	-	-	-	-	-	-	-				
Taxa de Resfriamento	NA	Após Goivagem	-	-	-	-	-	-	-	-				
Temperatura de Controle	NA	Após cada camada	-	-	-	-	-	-	-	-				
Diferença entre termopares	NA	Após Acabamento	VS	100	-	-	-	-	-	-				
Dureza Máxima	NA	Após tratamento térmico	-	-	-	-	-	-	-	-				
VS - Visual de Solda	LP - Líquido Penetrante	TP - T. Pneumático	PT - T. Pontos											
VA - Visual de Ajuste	PM - Partícula Magnética	TE - T. Estanqueidade	ED - Dureza											
DM - Dimensional	US - Ultra-Som	TV - Teste de Vácuo												
RX - Gamagrafia	TH - Teste Hidrostático	TF - Teste de Fumaça												
Inspetor do Controle da Qualidade			Chefe do Controle da Qualidade			Cliente								
Ass.			Ass.			Ass.								
										Tipo de Junta: ÂNGULO		Pos. 2F		
										Diâm.		Esp.: TODAS		
										Diâm.		Esp.: ...		
										Limpeza: Escova rotativa e/ou manual, para aço carbono.				
										Observações: VERIFICAR PLANO DE NDT				

Figura 17 – Instrução de Execução e Inspeção de Soldagem usada no ensaio para avaliar soldas intermitentes em relação às contínuas.

As figuras 18 a 21 ilustram as dimensões e posicionamentos nos corpos-de-prova onde foram soldados sempre filetes com garganta de 5 mm, conforme mostrado na figura 22, medido com calibre de solda aferido.

A figura 23 mostra como foi feita a solda intermitente, seguindo padrões fornecidos pelo projeto vindo da matriz na Noruega, tendo passes de 75 mm de comprimento e espaçamento entre passes de 100 mm.

A figura 24 mostra a soldagem realizada de forma contínua, sem parar, usada para comparação. Da mesma forma que foi feita a medição das deformações dos corpos de prova para sequência de soldagem, uma das bordas dos corpos de prova foi travada na bancada e foram feitas medições longitudinalmente na chapa soldada.

Os resultados estão apresentados em milímetros na tabela 4 e ilustrados graficamente na figura 25, que evidencia a enorme diferença entre adotar soldas contínuas e soldas intermitentes.

Os resultados da deformação associada ao uso da solda contínua, onde poderiam ser adotadas soldas intermitentes, foram tão impactantes que esse ensaio foi repetido na presença do armador, que relutou em querer adotar solda intermitente em seus navios mesmo sendo aprovado pelo projeto.

Na repetição desse ensaio estiveram presentes classificadores da DNV (Det Norske Veritas), representantes da DOF, do armador e do estaleiro; e os resultados endossaram os testes anteriores, agora mostrando com uma câmera térmica o aquecimento real em cada tipo de soldagem.

A figura 26 mostra como a câmera térmica fez fotos de todo o processo de soldagem, e os resultados ao final da soldagem estão apresentados na figura 27.

Ficou evidente que o aporte de calor na solda progressiva gerou temperaturas muito altas nas chapas (acima de 360°C), muito mais elevadas do que as geradas na solda intermitente (que chegou a 212 °C). O registro destas duas imagem foi feito ao final da soldagem de ambos os lados, ou seja, na condição em que a chapa está mais quente.

Desta forma é importantíssimo adotar técnicas que minimizem aquecimentos, através de um bom planejamento e gestão dos processos de soldagem.

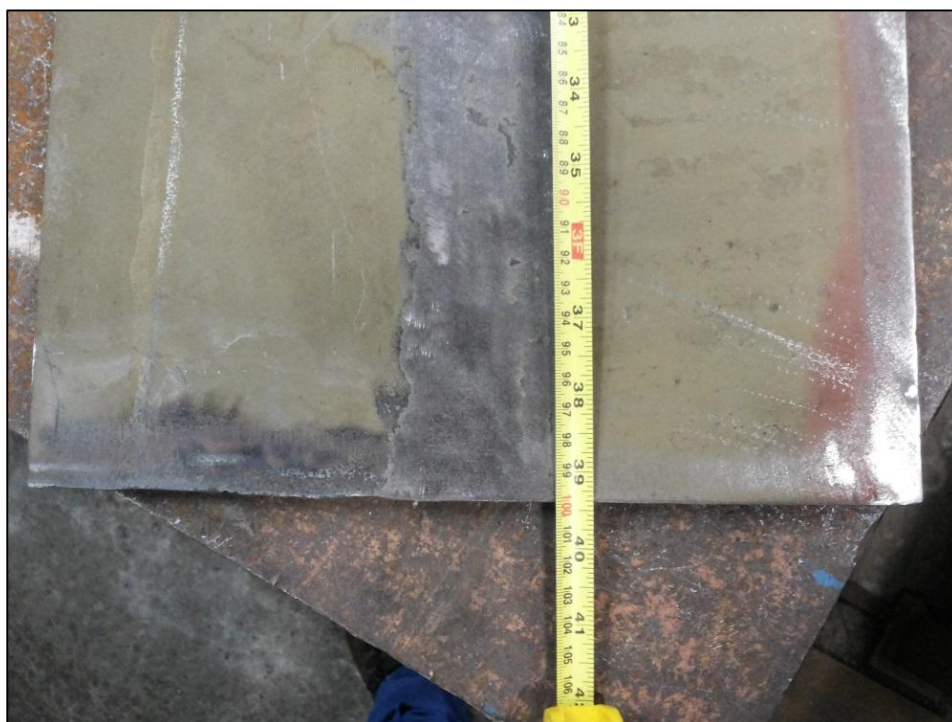


Figura 18 – Dimensões dos corpos de prova – comprimento de 1 metro.



Figura 19 – Dimensões dos corpos-de-prova – largura de 300 mm.



Figura 20 – Dimensões dos corpos-de-prova – espessura de 10 mm.

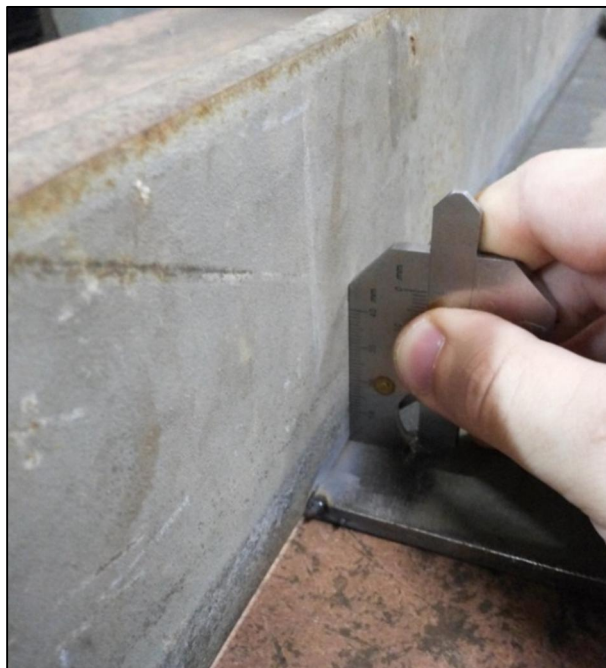


Figura 21 – Dimensões dos corpos-de-prova - ângulo reto.

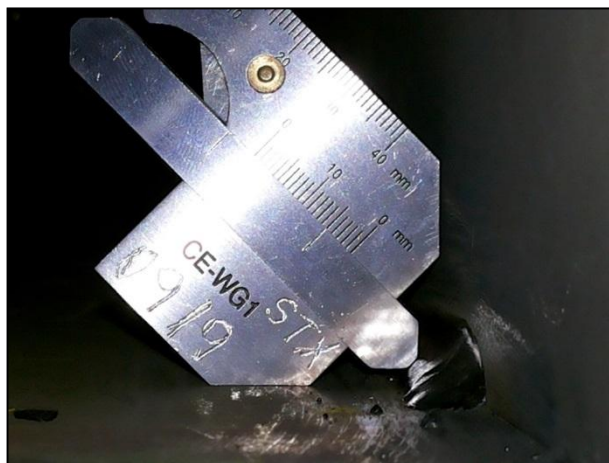


Figura 22 – Dimensões dos corpos-de-prova - garganta de solda uniforme e igual a 5mm.



Figura 29 – Corpo de prova após a soldagem intermitente.

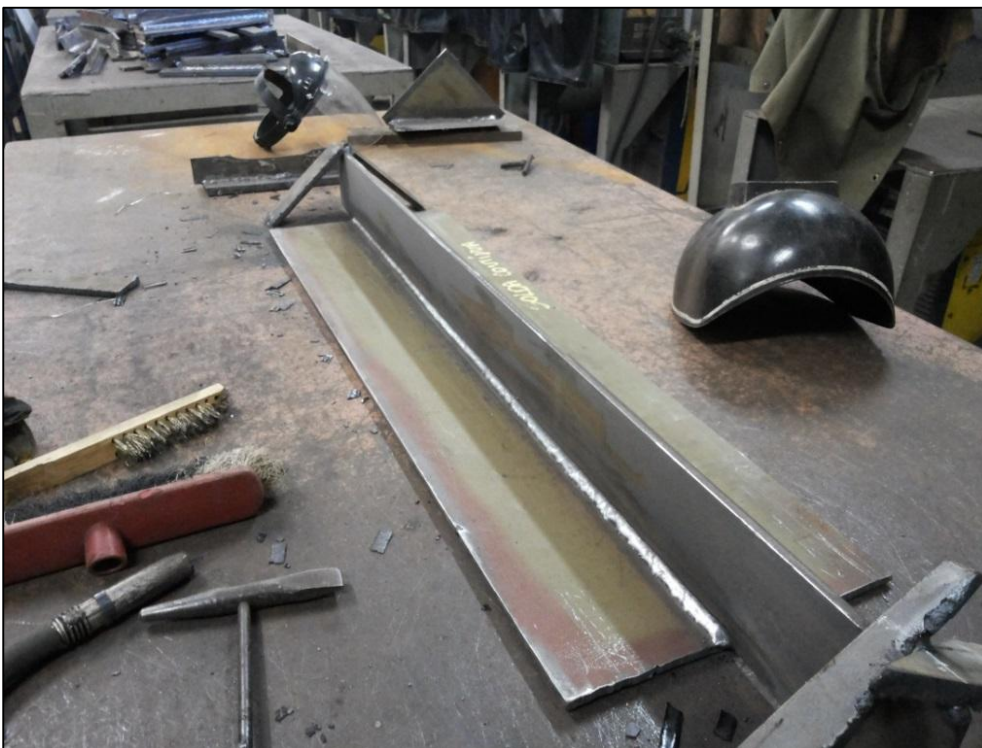


Figura 24 – Corpo de prova após a soldagem progressiva.

Tabela 4 – Medidas da deformação (em mm) ao longo do comprimento.

posição ao longo dos 1000mm de comprimento da junta	soldagem intermitente	soldagem progressiva contínua
0	7,5	10,0
100	7,0	9,5
200	6,5	9,5
300	6,0	9,5
400	5,5	9,5
500	5,0	9,5
600	5,5	10,5
700	5,5	11,5
800	6,0	12,5
900	7,0	13,5
1000	7,5	15,0

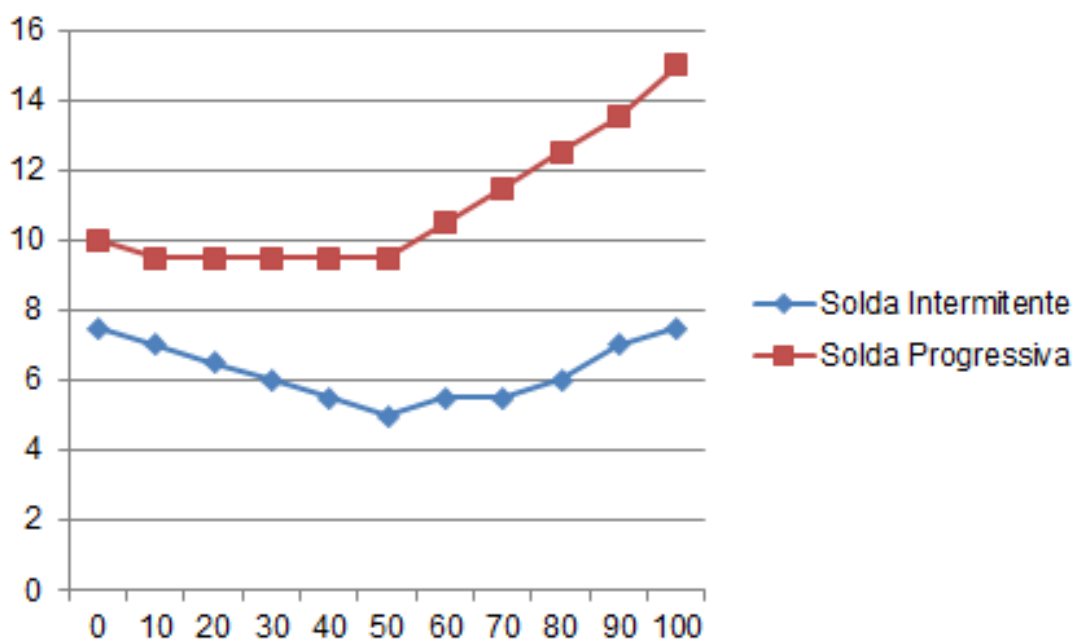


Figura 25 – Gráfico que evidencia a deformação comparativa entre solda intermitente e progressiva contínua.



Figura 26 – Soldagens com acompanhamento e registro por câmera térmica.

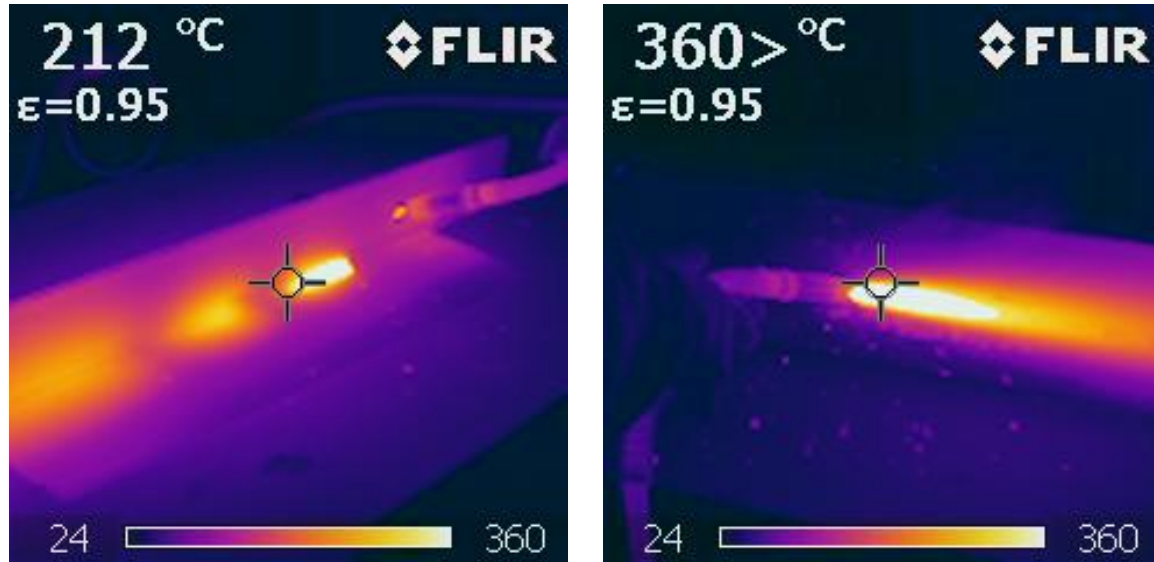


Figura 27 – Imagens térmicas que mostram a distribuição de temperatura no corpo de prova, soldagem intermitente (a esquerda) e contínua (a direita).

6. PROCEDIMENTOS ADOTADOS PARA MINIMIZAR RETRABALHO

Além das técnicas de soldagem que podem ser utilizadas na minimizar o retrabalho desde que haja um bom planejamento para a soldagem, o mapeamento dos processos permitiu compreender melhor a sequência do processo produtivo para seu ajuste, tornando-o uniforme. O trabalho foi iniciado pelo departamento de estrutura que detém metade da força de trabalho do estaleiro e tem como principal objetivo minimizar retrabalhos, principalmente associados a distorções em juntas soldadas.

Para as principais etapas do processo produtivo foram estruturados PROCEDIMENTOS, que estabelecem os requisitos do processo em questão, além dos cuidados em relação aos materiais, métodos, medições, meios e pessoas. Um procedimento sempre inclui o OBJETIVO e descreve as ATIVIDADES na sequência estabelecida, além das RESPONSABILIDADES envolvidas.

No processo produtivo foram identificadas três etapas básicas para as quais foram desenvolvidos procedimentos, a saber:

- Procedimento de fabricação da estrutura (tópico 6.1), onde estão apresentadas sequências de montagem e de soldagem, com detalhes dos métodos (inclusive aqueles que exigem qualificação) e das qualificações de pessoal requeridas.
- Técnicas recomendadas de soldagem (tópico 6.2), onde estão apresentados detalhes muitas vezes esquecidos em relação à preparação de juntas, pontamentos, técnicas de soldagem e consumíveis.
- Procedimento de desempenho (tópico 6.3), onde estão apresentados detalhes de como desempenar chapas com diferentes espessuras e tipos de distorção. Este procedimento foi elaborado com base em discussões com profissionais experientes e em observações feitas em outro estaleiro do grupo, na Noruega.

Os procedimentos a seguir já estão sendo utilizados na prática pelo Estaleiro VARD Niterói, sendo que a primeira versão formal é a apresentada neste trabalho.

6.1. Procedimento de Fabricação da Estrutura

6.1.1. Objetivo

Este procedimento tem por objetivo definir a sequência de etapas que apresentam requisitos, assim como os métodos e responsabilidades para a execução das atividades de fabricação da estrutura.

6.1.2. Processamento

Peças fabricadas no Estaleiro são produzidas conforme definido a seguir:

1. O “PCP” envia, para o responsável pelo processamento, as informações técnicas necessárias (desenho, croquis, etc) bem como a identificação da matéria prima a ser utilizada
2. O responsável pelo processamento executa as marcações devidas sobre a matéria prima e executa os cortes necessários.
3. De acordo com o cronograma, as peças das partes curvas do casco podem ser curvadas à frio ou à morno/quente, a critério do chefe da área.

O curvamento a frio é feito mecanicamente com prensa ou calandra apenas por profissionais habilitados para tal.

O aquecimento, quando necessário, é feito pelo aquecimento das chapas em locais previamente marcados, apenas por profissionais especializados para esta função, utilizando maçaricos oxi-acetilênicos próprios para aquecimento.

4. As peças de aço depois de processadas são estocadas conforme definido em procedimento específico.

6.1.3. Montagem

Todas as montagens são executadas obedecendo às informações técnicas (desenhos ou croquis) fornecidas pelo PCP e em concordância com o respectivo cronograma.

Painéis Retos

- a) As chapas são montadas entre si sobre base plana, conforme desenho respectivo, tendo o ponteamto de união conforme o procedimento de soldagem.
- b) A solda do “1º Lado” será executada seguindo o procedimento de soldagem.

- c) Após a conclusão da solda do 1º Lado, o chapeamento deverá ser virado, ou seja, inverter o lado da soldagem.
- d) Executar a solda do 2º Lado seguindo o procedimento de soldagem.
- e) Marcar o chapeamento, utilizando o desenho correspondente.
- f) Executar os cortes especificados no desenho e indicados, diretamente sobre o chapeamento.

OBS.: Neste ponto, a critério do chefe da área de montagem, pode ou não, ser executada a montagem e soldagem dos “Perfis Retos” do painel, indicados no desenho, conforme o procedimento de soldagem.

Painéis Curvos

- a) Em área específica (oficinas), preparam-se os jigs (dispositivos) de suspensão com as elevações indicadas no desenho do painel.
- b) Posicionam-se as chapas conforme indicado no desenho, e a montagem das mesmas entre si é feita, com o ponteamto conforme o procedimento de soldagem.
- c) Executa-se a solda do 1º Lado do chapeamento conforme o procedimento de soldagem.
- d) A marcação do chapeamento é feita conforme indicado no desenho específico para este fim.
- e) Executa-se o corte indicado sobre o chapeamento.
- f) É feita a montagem das peças indicadas no desenho correspondente, sobre o chapeamento, seguindo-se para o ponteamto conforme o procedimento de soldagem.
- g) A soldagem é feita conforme o procedimento de soldagem.
- h) O painel é virado de lado, e a solda do 2º Lado é executada conforme procedimento de soldagem.

6.1.4. Sub-montagem

- a) As peças primárias são posicionadas sobre o piso da oficina, e as peças secundárias são montadas sobre as primeiras, conforme desenho específico. O ponteamto é feito conforme procedimento de soldagem.
- b) As soldas são executadas conforme procedimento de soldagem.

6.1.5. Blocos

Os blocos são montados sobre bases adequadas, nas áreas estabelecidas para este fim, com a sequência a seguir:

- a) Posiciona-se o “Painel Base” sobre a base previamente preparada nivelada, inclinada, etc).
- b) Coloca-se sobre o painel base todos os outros membros (sub-montagens, perfis, painéis retos, painéis curvos e peças avulsas) que compõem o bloco.
- c) A montagem é feita obedecendo-se a todas as indicações do desenho correspondente, com o ponteamto conforme o procedimento de soldagem.
- d) A soldagem é realizada conforme o procedimento de soldagem.
- e) Após a conclusão de toda a montagem e soldagem, é feita a inspeção final da “estrutura” do bloco. Esta inspeção é executada pelo Controle de Qualidade.

OBS.: Neste ponto, o bloco se aprovado pode ser pintado (antes de ser edificado) ou edificado diretamente, ficando a critério do gerente de produção.

6.1.6. Edificação

A edificação se dará na carreira de lançamento, na sequência indicada pelo cronograma (PERT) de edificação, elaborado pelo PCP.

As atividades são executadas conforme descrito a seguir:

- a) Posicionam-se os picadeiros (peças de sustentação) ao longo da carreira, conforme o “Plano de Picadeiros” da obra em execução. Marcados no piso da carreira a linha de centro e suas perpendiculares de acordo com as cavernas correspondentes ao bloco edificado à vante e à ré.
- b) O bloco base (bloco do batimento de quilha) é posicionado na carreira, conforme medidas fornecidas pelo PCP. É preso firmemente ao solo, através de peças metálicas (soldadas ao bloco e soldadas ou cravadas ao solo). E marcadas no piso da carreira a linha de centro e suas perpendiculares de acordo com as cavernas correspondentes ao bloco edificado à vante e à ré.
- c) Nivelam-se o bloco com o auxílio de mangueira de nível ou nível ótico.
- d) Marca-se o bloco em seu tamanho definitivo de acordo com os desenhos fornecidos pelo PCP e o corte final é feito de acordo com as IEIS aplicáveis ao local.

e) A área de assentamento do bloco é limpa para retirar as interferências e peças de auxílio a montagem, posiciona-se definitivamente o bloco e é feito o ponteamento de acordo com o procedimento de soldagem.

f) Faz-se a limpeza final de maçarico e esmeril, em seguida a soldagem é liberada.

g) Os blocos subsequentes são edificados, conforme sequência do cronograma, e ajustados aos anteriores – já edificados – obedecendo as medidas indicadas nos desenhos ou “Croquis” fornecidos pelo PCP.

h) Faz-se a montagem das uniões dos blocos entre si, adotando-se para o ponteamento o procedimento de soldagem.

i) As soldas das uniões já montadas são feitas conforme o procedimento de soldagem.

j) Com a conclusão da soldagem, cada união é inspecionada pelo Controle de Qualidade.

OBS.: Neste ponto, em função da região da obra que as uniões se encontram, é possível que as mesmas sejam liberadas para receber a pintura final.

k) As uniões que se situam em tanques são submetidas a testes pneumáticos (com pressão positiva ou negativa).

6.2. Técnicas de Soldagem Recomendadas

6.2.1. Objetivo

Este procedimento tem por objetivo estabelecer os cuidados gerais e específicos para conduzir as atividades de soldagem. Todos os profissionais envolvidos requerem qualificações específicas.

6.2.2. Preparo de Chanfros

Os chanfros das juntas a serem soldadas devem ser preparados com as dimensões conforme tabela de preparação de chanfro do navio.

6.2.3. Ponteamento

O ponteamento deve ser realizado com eletrodo AWS E7018 devidamente ressecado e condicionado em estufa portátil, devidamente calibrada.

A necessidade de pré-aquecimento para ponteamento segue o requisito da IEIS.

Os dispositivos auxiliares de montagem, após remoção, devem ser inspecionados, retocados e aprovados (aqueles que não apresentarem poros, trincas, mordeduras ou redução de espessura acentuada).

6.2.4. Soldagem

Todas as soldas devem ser executadas de forma filetada conforme IEIS aplicável, e por soldadores qualificados para a condição de soldagem.

Antes de iniciar a soldagem, o soldador deverá se certificar de que:

- O cochicho está calibrado e ligado.
- A máquina de solda está calibrada, e com a polaridade e amperagem de acordo com a IEIS aplicável.
- A junta a ser soldada está devidamente seca, protegida de água, ventos e poeira, óleo, graxa e tinta.
- Está equipado com material de proteção (E.P.I.).

Nota: A máquina deverá ser regulada para o ponto intermediário da faixa apresentada na IEIS.

O arco elétrico deve ser aberto no chanfro, ou em uma chapa apêndice utilizada para esse fim. A soldagem não deverá ser interrompida antes de completar o segundo passe (passe de reforço).

As peças devem estar isentas de água, óleo, graxa, oxidação, tintas, areia e fuligem do pré-aquecimento a gás, numa faixa de 50 mm para cada lado da borda do chanfro.

O pré-aquecimento, quando aplicável, e a temperatura de interpasse devem atender aos valores especificados na IEIS e serem checados com termômetros a laser, devidamente calibrados.

A distribuição das IEIS é de responsabilidade do controle da qualidade, que deverá fornecer às áreas de produção e contramestre de solda.

6.2.5. Consumíveis

Os consumíveis de soldagem devem ser homologados pelas sociedades classificadoras e devem ter sido inspecionados (Procedimento de Inspeção de Recebimento de Consumíveis de Soldagem) antes de serem utilizados.

6.3. Procedimento para Processos de Desempeno

6.3.1. Objetivo e Responsabilidade

O objetivo deste procedimento é estabelecer os métodos utilizados para eliminar deformações causadas pelos processos de soldagem, através da eliminação das tensões residuais e ou da correção dos empenos resultantes destas tensões.

É responsabilidade do supervisor de montagem do departamento de Estrutura a correta orientação sobre a execução dos trabalhos de desempenho.

6.3.2. Escopo

Nos trabalhos apresentados a seguir as operações de desempenho e alívio de tensões deverão ser realizadas preventivamente.

Operações de desempenho nos seguintes estágios:

- Corte – formação de perfis
- Montagem de blocos
- Montagem de unidades

Operações de liberação de tensão durante os seguintes estágios:

- Fabricação dos perfis de sustentação e de pequenos painéis
- Fabricação de painéis planos

6.3.3. Temperaturas Aplicadas

Na liberação de tensão as chapas serão aquecidas nas áreas adjacentes aos perfis na temperatura máxima 200°C-250°C.

No desempenho os elementos podem ser aquecidos até no máximo 600°C-650°C

Nota 1: podem ser usados para facilitar o desempenho:

- perfis de auxílio
- perfis suplementares permanentes
- prensas mecânicas

Nota 2: pode-se fazer destacamentos

- das bainhas de solda
- na área das chapas

Nota 3: A medida da temperatura é efetuada com termômetro digital, imediatamente após afastar a chama. Um tempo de 2-3 segundos leva a resultados incorretos devido ao rápido resfriamento da superfície aquecida (por mais de 100°C).

Os equipamentos para aplicação de calor podem ser do tipo:

- queimador de chama oxí gás – para desempenho dos perfis
- queimador oxí gás (com 2 ou 3 bicos) – para liberação de tensão e para desempenar superfícies.

Os parâmetros de trabalho são:

- pressão do oxigênio = 4-5 bar
- pressão oxí gás $\leq 1,2$ bar
- chama acetilênica neutra (sem excesso de O₂)
- a distância entre o bico do cone de chama interno e do elemento a ser desempenado = 3-4 mm
- comprimento da faixa aquecida = aprox 100 mm
- distância mínima entre áreas aquecidas = 25-30 mm
- maçarico gás = nº 3

6.3.4. Regras para o desempenho

- a) Antes de começar a aplicar calor nas áreas a serem desempenadas, as áreas soldadas devem estar livres de tensão externas. O calor deve ser aplicado primeiro nas vigas e depois seguir com o desempenho das chapas.
- b) O desempenho deve iniciar do centro do navio e seguir para fora, e da quilha para a superestrutura; primeiro deck/plataformas e depois anteparas longitudinais e transversais, laterais e corrimãos.
- c) Para as unidades que estão em fase de montagem, o desempenho deve ser feito apenas quando o acoplamento com os blocos adjacentes estiver completo, todas as soldas terem sido finalizadas e todos os acessórios montados. Antes da montagem dos acessórios é realizado um desempenho local nas áreas onde existirá montagem

- d) Perfis de sustentação tecnológicos e cortes nas bainhas de solda ou cortes na área da chapa são usados para remover deformação acima de 10mm.
- e) A sucessão do corte das bainhas de solda e nas áreas da chapa é descrito em c. Para a próxima área a ser reparada o trabalho começará apenas quando a anterior tiver sido finalizada, as bainhas tiverem sido soldadas novamente e a área desempenada.
- f) As áreas com menores deformações serão reparadas primeiro. Onde for possível, antes de aplicar calor, deve ser utilizada uma prensa pois o desempenho é mais eficaz.
- g) O aquecimento da chapa causa o aumento das distorções. Por essa razão quando o reaquecimento for necessário será preciso esperar até que a chapa tenha esfriado.
- h) Os perfis permanentes – incluídos nos desenhos do workshop – devem ser montados no estágio de fabricação, para reduzir borda livre.
- i) Os perfis nas chapas devem ser transversais no sentido do rolamento pois a eficácia do desempenho aumentará.

É proibido martelar as superfícies a serem desempenadas (chapas, perfis).

O desempenho é realizado na sequência:

1. ponto de início é escolhido
2. maçarico é posicionado
3. o maçarico é mantido aceso até chegar na temperatura necessária (se observa a cor roxo escuro para o material aquecido)
4. -não são permitidos movimentos circulares ou pendulares com o maçarico
5. a temperatura da área aquecida é medida com termômetro digital
6. o movimento avançando é executado em uma única direção para obter o comprimento necessário da fita de aquecimento
7. não é permitido retornar ou parar a linha de aquecimento. A velocidade de aquecimento é um fator importante para a eficácia do desempenho.

6.3.5. Esquema de Desempeno

6.3.5.1. Painéis Planos Com deformação Simétrica

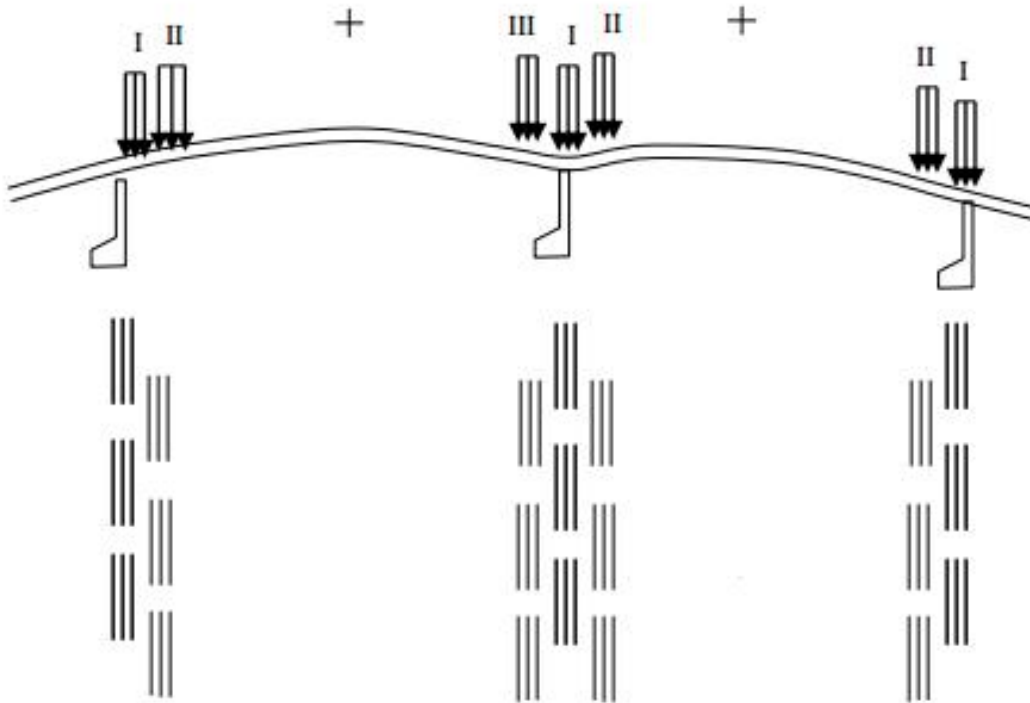


Figura 28 – Posição dos maçaricos e sequencia de aplicação de calor para painéis planos com deformação simétrica.

O lado oposto do perfil será aquecido por maçarico de 3 bicos.

As deformações serão medidas depois do resfriamento da chapa.

Se as tolerâncias não forem atingidas, o desempenho continuará na área da chapa, nas áreas com deformações convexas. Não aquecer o lado côncavo da deformação.

6.3.5.2. Painéis Planos com Deformação Assimétrica

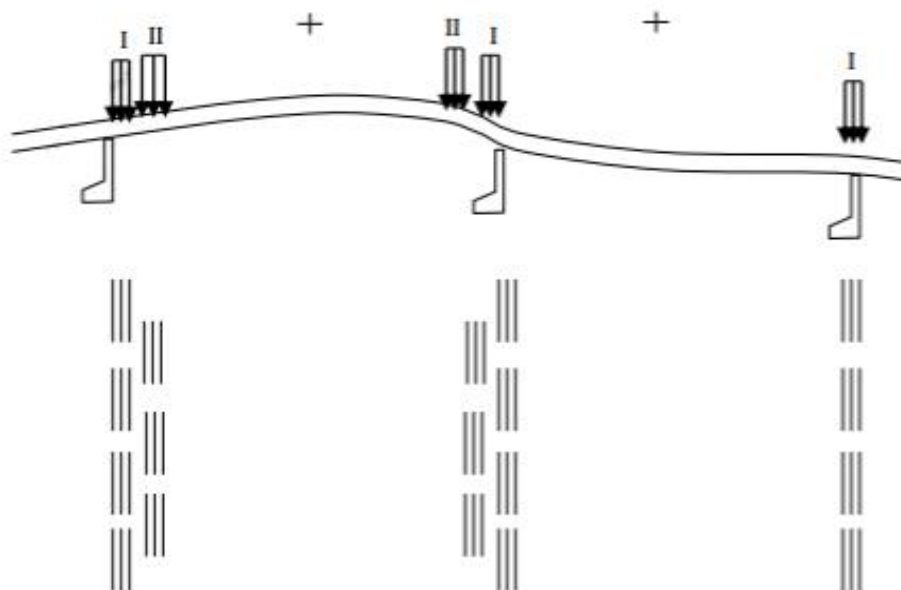


Figura 29 – Posição dos maçaricos e sequência de aplicação de calor para painéis planos com deformação assimétrica.

O lado oposto do perfil será aquecido por maçarico de 3 bicos. O maçarico, de um lado será localizado em correspondência com a rede do perfil e os outros dois na deformação convexa.

As deformações serão medidas depois do resfriamento das chapas.

Se as tolerâncias não forem alcançadas, o desempenho continuará na área da chapa, nas áreas com deformações convexas não aquecer o lado côncavo da deformação.

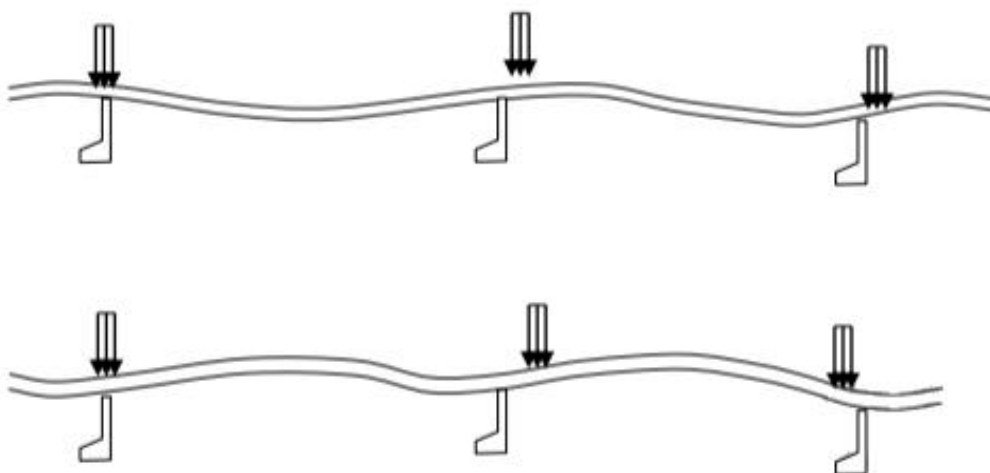


Figura 30 – Posição dos maçaricos antes da tolerância ser alcançada.

O lado oposto do perfil será aquecido por maçarico de 3 bicos. O maçarico, de um lado será localizado em correspondência com a rede do perfil e os outros dois na deformação convexa. Não aquecer o lado côncavo da deformação.

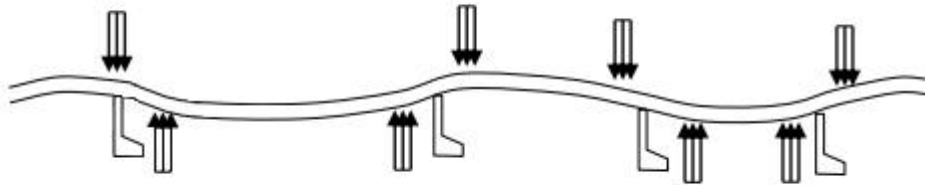


Figura 31 – Nova posição dos maçaricos.

Um dos métodos a seguir pode ser usado:

- a chapa será afastada, desempenada e soldada novamente. Este é o método preferencialmente recomendado; ou
- o lado oposto do perfil será aquecido por maçarico de 3 bicos. O maçarico, de um lado será localizado em correspondência com a rede do perfil e os outros dois na deformação convexa. Após o resfriamento, deve ser feita a medição. Se necessário, o lado com perfis apenas onde a deformação é convexa. Não aquecer o lado côncavo da deformação.

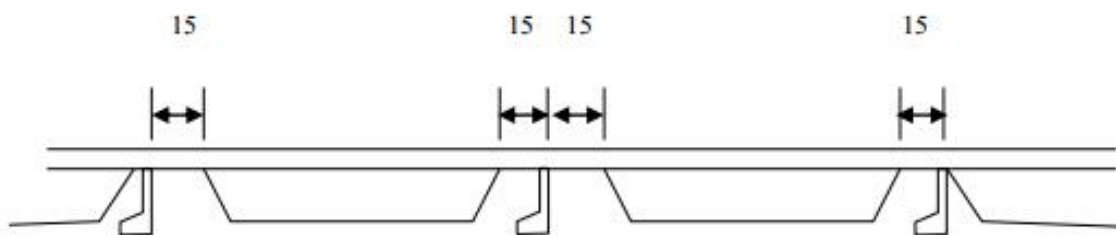


Figura 32 – Chapas finas.

Para as chapas finas, perfis permanentes podem ser montados, apenas se acordado com Sociedade Classificadora e representantes do armador.

6.3.5.3. Desempeno no Navio

A seqüência de desempeno no navio quando tratado globalmente, deve seguir preferencialmente o esquema da figura 33.

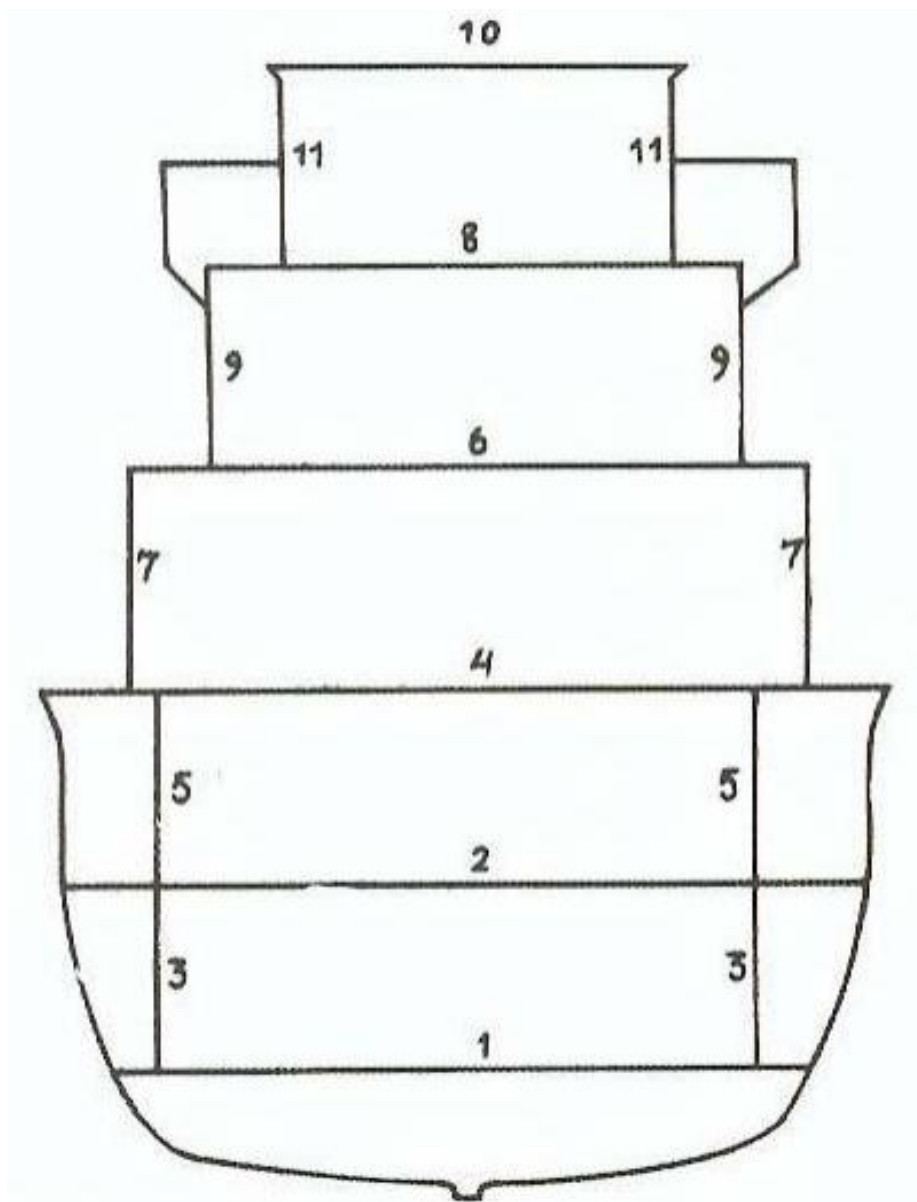


Figura 33 – Sequencia de desempeno ao tratar o navio globalmente.

O desempeno começa da parte inferior para o topo do navio e do meio para os lados. Primeiro serão desempenados os decks e depois as anteparas. O desempeno de uma área só começa após todas as soldas serem finalizadas na própria área e nas áreas adjacentes.

7. COMENTÁRIOS FINAIS

O índice de retrabalho em construções navais soldadas é muito elevado e as causas são diversas. Este trabalho procurou estudar um caso de não conformidade no estaleiro VARD Niterói por distorções excessivas geradas nas emendas de blocos na edificação, onde o índice de retrabalho costumava ser na ordem de 30% e para o qual a análise crítica mostrou duas causas básicas, sendo a primeira associada às muitas subdivisões de blocos por limitações do próprio estaleiro e a segunda associada ao elevado nível de distorções que os blocos apresentam na hora de sua união.

Para a primeira causa a ação proposta pelo estaleiro foi de melhorar o planejamento e pré-edificar os blocos com melhorias na logística (visto que o histórico do estaleiro mostra suas limitações) e a segunda foi de reduzir os níveis de tensionamento residual e distorções nos blocos, preventivamente e corretivamente.

Alguns testes de soldagem simulando técnicas que minimizam tensões residuais (e consequentes deformações), permitiram recomendar o uso de soldas intermitentes e passe a ré sempre que possível, sabendo-se que a adoção destas técnicas requer um bom planejamento e treinamento de pessoal, para assegurar um bom controle.

Além das recomendações anteriores foram também apresentados três procedimentos para minimizar os retrabalhos de solda, ligados à fabricação da estrutura e à soldagem em si, e ao desempenho. Estes procedimentos estão em uso no estaleiro mas são apresentados em primeira versão escrita neste trabalho.

8. BIBLIOGRAFIA ADOTADA

Teng, Tso-Liang and Chang, Peng-Hsiang and Tseng, Wen-Cheng. "Effect of welding sequences on residual stresses. Computers and Structures", 81:p.273-286, Elsevier Science LTD, 2003.