

AUGUSTO MAYNARD DA SILVA

**PLANEJAMENTO E CONTROLE DE TOLERÂNCIAS E METROLOGIA
INDUSTRIAL DE GRANDES DIMENSÕES NA CONSTRUÇÃO NAVAL**

**SÃO PAULO
2011**

AUGUSTO MAYNARD DA SILVA

**PLANEJAMENTO E CONTROLE DE TOLERÂNCIAS E METROLOGIA
INDUSTRIAL DE GRANDES DIMENSÕES NA CONSTRUÇÃO NAVAL**

Monografia apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
– Departamento de Engenharia Naval e
Oceânica para a obtenção do título de
Especialista em Gestão e Tecnologia em
Construção Naval.

SÃO PAULO

2011

AUGUSTO MAYNARD DA SILVA

**PLANEJAMENTO E CONTROLE DE TOLERÂNCIAS E METROLOGIA
INDUSTRIAL DE GRANDES DIMENSÕES NA CONSTRUÇÃO NAVAL**

Monografia apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
– Departamento de Engenharia Naval e
Oceânica para a obtenção do título de
Especialista em Gestão e Tecnologia em
Construção Naval.

Área de Concentração: Programação e
Controle da Produção Naval.

Orientador: Prof. M.Sc. Pierre Matias da
Silva.

SÃO PAULO

2011

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha família, aos colegas do curso, do trabalho e aos professores do Convênio PNV-EPUSP x Marinha que proporcionaram o meu aprimoramento profissional.

AGRADECIMENTOS

Ao professor Pierre Matias da Silva, pela orientação e pelo constante estímulo transmitido durante o trabalho.

À Direção do Arsenal de Marinha do Rio de Janeiro que viabilizou a realização deste curso a partir de uma instituição constituída de grandes mestres como a USP.

A todos os professores e colegas do curso de pós-graduação Lato Sensu Gestão e Tecnologia em Construção Naval.

Ao Cmte Trócoli, do Arsenal de Marinha do Rio de Janeiro pelo estímulo e confiança.

À minha família pela paciência e compreensão durante a elaboração do desenvolvimento do trabalho de pesquisa.

À minha mãe, que me educou e forjou a minha formação educacional e cultural que permitiu que realizasse este trabalho.

RESUMO

O atual cenário de demanda de embarcações no Brasil tende a pressionar a indústria nacional na direção de um aumento significativo na produtividade. Entre outras ações, muitas delas relacionadas com processos de gestão, encontra-se o planejamento e controle da tolerância dos processos de produção. Considerado como estratégico pelos maiores construtores navais no mundo, o planejamento e controle das tolerâncias na construção naval se desenvolve através da avaliação das tolerâncias intermediárias necessárias ao alcance da precisão dos produtos intermediários mais complexos, a avaliação estatística do processo de produção e necessários ajustes que tornem possível prever e controlar a sua precisão. Principalmente na construção modular, a metrologia de grandes dimensões, com a utilização de equipamentos que utilizem sistemas ECDS, tem grande importância na avaliação dimensional de unidades, blocos e megablocos, bem como no seu alinhamento necessário para a edificação.

Palavras-chave: Planejamento, Controle, Estatística, Tolerância, Precisão, Metrologia de Grandes Dimensões e Coordenadas

ABSTRACT

The current scenario of demand for vessels in Brazil tends to push the national industry toward a significant increase in productivity. Inside other actions, many of them related to management processes, is the planning and tolerance control of production processes. Considered as strategic by major shipbuilders in the world, planning and control of tolerances in shipbuilding is developed from the evaluation of intermediate tolerances necessary to achieve the precision of intermediate complex products , the statistical evaluation of the production process and necessary adjustments to make it possible to predict and control their accuracy. Especially in modular construction, metrology of large dimensions, with the use of equipment using ECDS systems, are of great importance. Particularly in the evaluation of dimensional units, blocks and giant blocks as well as its alignment necessary for the ship assembly.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Fabricação de Painéis Planos	16
Figura 2 - Fabricação de Painéis Curvos (foto cedida por prof. Gerson Machado, 2010).....	17
Figura 3 - Linha de Fabricação de Painéis Planos (FIRST MARINE INTERNATIONAL LIMITED, 2007)	18
Figura 4 - Linha de Fabricação de Painéis Curvos (PINTO et al, 2007)	18
Figura 5 - Montagem de Blocos (PINTO et al,2007)	20
Figura 6 - Edificação de Blocos em Dique Seco (foto cedida pelo prof. Gerson Machado, 2010)	22
Figura 7 - Esquema Geral do Processo de Construção Naval em um Estaleiro (PINTO et al, 2007)	23
Figura 8 - Detalhes do processo de produção de um estaleiro (PINTO et al, 2007)	23
Figura 9 - Distribuição Normal (FERNANDES, 1999)	27
Figura 10 - EAP Básico de um Projeto (PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE, 2004).....	42
Figura 11 - Processos de Gestão do Tempo (PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE, 2004)	44
Figura 12 - Interações dos Processos de Gestão do Tempo (PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE, 2004).....	45
Figura 13 - Medição de uma unidade estrutural com uma estação total e PC portátil (SCHREIBER, 1999).....	55
Figura 14 - Medição da Circularidade com "Regua dos 3 Pontos" (Illemann, , 2001).....	56
Figura 15 - Medição da Circularidade utilizando a estação total (Illemann, , 2001) .	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Normatização de tolerâncias (1)	34
Tabela 2 - Normatização de tolerâncias (2)	35
Tabela 3 - Normatização de tolerâncias (3)	35
Tabela 4 - Normatização de tolerâncias (4)	37
Tabela 5 - Pontos e Dimensões Vitais (HAMMON, 1995).....	40
Tabela 6 - Comparação entre os sistemas ECDS (NAVAL SURFACE WARFARE CENTER, 1990)	52
Tabela 7 - Comparação entre a eficiência dos sistemas na fabricação estrutural (NAVAL SURFACE WARFARE CENTER, 1990).....	53

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CEGN - Comissão de Estudos em Gestão Naval

DCCS – Digital Comparator Corelator System

EAP – Estrutura Analítica do Projeto

ECDS – Electronic Coordinate Determine System

Ei – Edificação

FAO – Folha de Acompanhamento de Obras

Mi – Montagem

PMBOK – Project Manager BoK

Si – Sub Montagem

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	12
1 REFERENCIAL TEÓRICO	15
2 PROCESSOS DE FABRICAÇÃO DE ESTRUTURAS NAVAIS	16
3 ESTATÍSTICA APLICADA AO CONTROLE DE TOLERÂNCIAS NA FABRICAÇÃO ESTRUTURAL NAVAL	26
4 NORMALIZAÇÃO DE TOLERÂNCIAS EM PROCESSOS DE FABRICAÇÃO E MONTAGEM ESTRUTURAS	33
5 O PLANEJAMENTO E CONTROLE DA TOLERÂNCIA	39
6 METROLOGIA INDUSTRIAL EM GRANDES DIMENSÕES APLICADA A INDÚSTRIA NAVAL	48
7 DESCRIÇÃO DE CASOS COM A UTILIZAÇÃO DE FERRAMENTAS DE METROLOGIA DE GRANDES DIMENSÕES	54
CONCLUSÃO	57
REFERÊNCIAS	59

INTRODUÇÃO

Com a demanda crescente de navios pela PETROBRÁS, fruto da decisão política do Pres. Lula de construir navios no Brasil e da recente descoberta dos campos de petróleo na divulgada “CAMADA DO PRÉ-SAL”, os estaleiros nacionais se viram diante de um grande desafio: atender em tempo hábil as encomendas de navios e plataformas advindas destes fatos, modernizando o seu parque industrial e aprimorando os seus processos de manufatura e gestão da construção naval.

O Comandante da Marinha Almirante Júlio Soares de Moura Neto, em entrevista coletiva realizada por ocasião da 24ª Conferência Naval Interamericana, informou que o Brasil planeja a construção de 11 grandes navios para patrulhar de forma “constante” as jazidas petrolíferas no oceano Atlântico.

Os planos da Marinha contemplam a construção em estaleiros brasileiros de cinco fragatas de seis mil toneladas, cinco navios de escolta oceânica e um navio de apoio logístico, de 20 mil toneladas.

Um lote inicial de três fragatas de 6.000 toneladas (com opção para mais duas) deve ser encomendado, a um custo unitário de cerca de 450 milhões de euros. A construção de um lote inicial de três NPaOc de 1.800 toneladas (com opção para mais dois), a um custo de R\$ 194,7 milhões cada um, também deve ser contratada em breve.

O navio de apoio logístico (NAPLog) de 20.000 toneladas (com opção para mais quatro), com custo unitário de US\$ 150 milhões, também está previsto.

Além disso, estão sendo modernizados o navio-aeródromo (NAe) São Paulo, os navios de escolta e diversos navios empregados no serviço de hidrografia e navegação.

Foi entregue o primeiro de seis navios-patrolha de 500 toneladas encomendados, devendo os demais, das 46 embarcações previstas, serem entregues até 2014, a um custo unitário de R\$ 80 milhões. Até 2015, também serão construídos quatro NPa de 200 toneladas, para águas costeiras e fluviais, por R\$ 168 milhões de custo total.

Pelos objetivos da Marinha, as metas prioritárias para os próximos anos incluem os projetos previstos no Plano de Reaparelhamento da Marinha, PRM, e

outros que não estavam incluídos naquele plano. Tais projetos incluem a substituição de meios cuja baixa ocorreu recentemente ou deve ocorrer em breve, assim como a modernização de outros, que terão sua vida útil estendida e sua capacidade operativa atualizada.

Até 2017, deve ser concluída a modernização de cinco submarinos, a um custo total de R\$ 614,9 milhões, e adquirido um lote de novos torpedos, a um custo de R\$ 107,6 milhões.

O programa de construção de cinco novos submarinos (quatro convencionais e um nuclear) tem seu custo estimado em 6,7 bilhões de euros. Numa primeira etapa, está prevista a instalação, até 2015, de um estaleiro e de uma base em Itaguaí (RJ).

Os dados apresentados indicam a grande demanda atual aos estaleiros estabelecidos. Mas, devido à inexistência de encomendas, a indústria naval brasileira praticamente ficou sucata, mantendo apenas alguns pequenos centros de produção de embarcações de pequeno porte destinadas às atividades de lazer, pesca e serviços de apoio à indústria do petróleo, entre outros. Neste cenário, não se investiu em tecnologia ou em qualquer evolução das práticas gerenciais ou de produção nos processos de construção naval mantendo a produtividade da indústria naval brasileira em níveis pouco competitivos em relação aos grandes produtores mundiais.

A produtividade do processo de construção naval está associada a diversos fatores. Entre os principais fatores estão o planejamento e o controle das tolerâncias processo de produção, principalmente no método de construção de navios por módulo, conhecido como construção modular ou, com maior rigor, no método por unidade com acabamento avançado.

Ganhos maiores em produtividade são alcançados se as peças, unidades e os blocos são construídos sem as tradicionais margens de ajustes que são trabalhadas na ocasião da montagem de sub-blocos ou edificação do navio.

Desta forma, componentes estruturais e de sistemas necessários a montagem e acabamento avançado dos blocos, devem ser produzidos dentro de tolerâncias necessárias reduzindo excessivos trabalhos de ajustes que encarecem a produção e aumentam o tempo de execução, diminuindo a produtividade do estaleiro.

Dentro deste conceito, a utilização de instrumentos usados na metrologia de grandes dimensões oferece grande contribuição para o aumento da produtividade.

O objetivo deste trabalho é apresentar os processos de fabricação estrutural a partir do método de construção modular evidenciando a necessidade da produção dos elementos estruturais com suas dimensões dentro de tolerâncias que permitam realizar as etapas posteriores sem a necessidade de ajustes a partir de processos de produção controlados estatisticamente, os conceitos relativos ao controle estatístico da precisão dos processos de produção e o seu planejamento, e, em um capítulo específico, apresentar as principais ferramentas de metrologia industrial em grandes dimensões aplicadas na indústria naval.

A motivação deste trabalho está relacionada com a crescente demanda junto aos estaleiros nacionais de embarcações comerciais e militares já mencionados anteriormente, exigindo um aumento na produtividade das instalações existentes, e por consequência, a implementação de tecnologias que permitam alcançar este objetivo.

O trabalho está desenvolvido nos seguintes capítulos:

1. Processos de Fabricação de Estruturas Navais
2. Estatística Aplicada ao Controle de Tolerâncias na Fabricação de Estruturas Navais
3. Normalização de Tolerâncias em Processos de Fabricação de Estruturas Navais
4. Planejamento e Controle de Tolerâncias na Fabricação de Estruturas Navais
5. Metrologia Industrial em Grandes Dimensões Aplicada a Construção Naval

A partir da leitura e análise dos artigos elaborados pelo grupo do Centro de Estudos em Gestão Naval (CEGN-USP) relativos aos processos de construção naval além do livro *Ship Production* (HAMMON et al, 1995) e do paper da *Society of Naval Architects and Marine Engineers Advanced Industrial Measurement Systems for Productive Shipbuilding* (HORSMON, 1990), pretendo apresentar neste trabalho os conceitos do controle da tolerância dos processos de produção na construção naval, as ferramentas básicas da metrologia industrial em grandes dimensões e sua aplicação como ferramenta de controle dimensional na indústria naval.

1 REFERENCIAL TEÓRICO

Muito tem se falado no Brasil sobre a construção modular e suas vantagens competitivas. No que se refere aos processos de planejamento e controle da produção e otimização de recursos através deste método de construção, vários artigos foram escritos, principalmente nos trabalhos publicados pelo CEGN. Ainda nas publicações da CEGN, fica evidenciado que a demanda, como se apresente no cenário atual, apresenta oportunidades para a adoção de tecnologias que permitam o aumento da produtividade nos estaleiros nacionais.

O livro *Ship Production* (HAMMON et al, 1995) trata do assunto gestão e controle de tolerâncias dos processos de produção com detalhes em um capítulo específico. Neste livro, que pode ser considerado uma das publicações mais importantes sobre a indústria naval, fica clara a importância deste aspecto na gestão da construção naval.

Este trabalho se apoia fortemente nos conceitos estabelecidos neste livro.

Alem do *Ship Production*, foi consultado o relatório do *U.S. Shipbuilding Accuracy Phase* (FRANZ, 1986) onde são estabelecidos parâmetros representativos da precisão obtida em processos de produção de estaleiros associados ao "Todd Pacific Shipyards Corporation". Este documento faz menção ao "Japanese Shipbuilding Quality Standard" que, entre outros, estabelece a necessidade de um sistema de gestão das tolerâncias dos processos de produção.

No "paper" "Studies on The Block Positioning Metrics System for The Hull Erection Stage" (TAKECHI et al, 2002), é proposto um sistema de medição dimensional de alta precisão computadorizado para controlar o processo de fabricação dos blocos e o seu posicionamento no dique de edificação. Esse sistema conduz as ferramentas que são amplamente utilizadas na "Metrologia Industrial em Grandes Dimensões", entre eles aquelas conhecidas como ECDS (Electronic Coordinates Determine Systems), cujas principais características são descritas no artigo "Advanced Industrial Measurement Systems for Productive Shipbuilding" (HORSMON et al, 1990). A descrição das principais ferramentas apresentadas no "paper" permite a prospecção de várias formas de sua utilização na construção de navios pelo método de blocos com acabamento avançado entre outros.

2 PROCESSOS DE FABRICAÇÃO DE ESTRUTURAS NAVAIS

Conforme é descrito no documento “Planejamento, programação e controle da produção e estoques na construção naval” elaborado no projeto “Implantação e consolidação de laboratório de gestão de operações e da cadeia de suprimentos da indústria de construção naval” do POTRAN – Programa Tecnológico da TRANSPETRO – abril de 2007, o processo de fabricação estrutural de navios segue as seguintes etapas:

Fabricação de painéis:

Painéis são estruturas simples de aço feitas basicamente de chapas e perfis trabalhados e soldados. Podem ser de dois tipos: planos ou curvos. Os painéis planos respondem pela grande maioria dos painéis (compõem o fundo, costados retos, anteparas transversais, convés e decks do navio). Existem, na sua fabricação, roteiros de processos, lista de materiais, equipamentos requeridos e tempos de processamento parecidos, podendo haver diferenças quanto ao número e tamanho de perfis ou partes de aço que são soldadas às chapas.

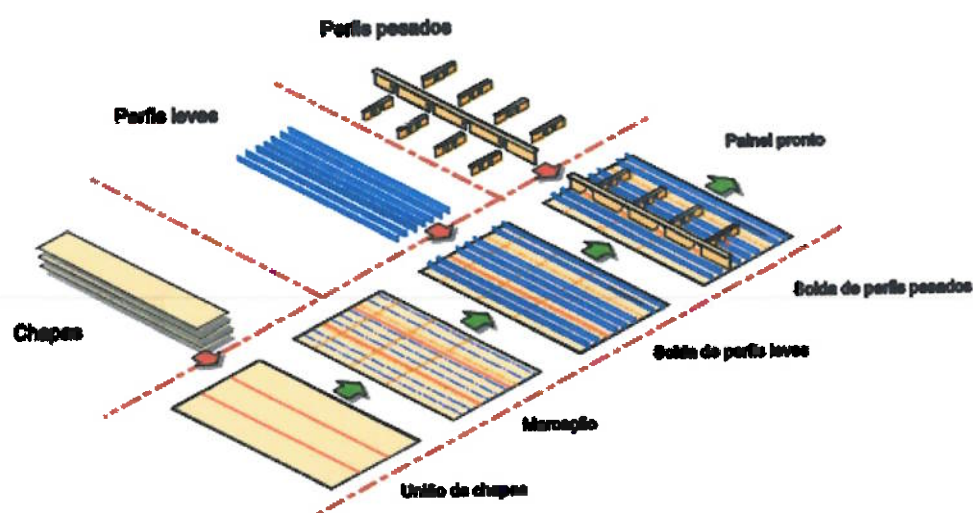


Figura 1 - Fabricação de Painéis Planos

Os painéis curvos, por outro lado, são em menor quantidade (compõem as seções de proa e popa e os blocos que unem os costados ao fundo do navio) e mais diferenciados. Cada um possui diferentes curvaturas, a serem dadas às chapas e

perfis que o compõem nas oficinas com dispositivos especializados. Há, portanto um maior tempo de preparação na fabricação associado ao ajuste de gabaritos, cálculo das linhas de aquecimento das chapas, etc. Considerando essas dificuldades, pode ser interessante para os estaleiros terceirizar a construção desses painéis, dando ao processo geral de fabricação maior velocidade. Se a demanda é unitária ou pequena, não compensa a elaboração de um sistema de produção repetitiva para fabricação dessas peças, que serão modeladas como produção por projeto.



Figura 2 - Fabricação de Painéis Curvos (foto cedida por prof. Gerson Machado, 2010)

Para um cenário de demanda média ou grande, as semelhanças de processo justificam a existência de células de manufatura dedicadas, que tenham as partes fabricadas como insumos e façam uso de equipamentos (de solda, transporte) e recursos humanos. Tal qual uma linha de produção, a seqüência é bem definida e contínua. Caracteriza-se assim um sistema de produção intermitente repetitiva, com seqüência linear (flow-shop).

O grau de automação a ser implantado na linha é avaliado por uma análise de custo e benefício, entre o custo dos equipamentos e mão-de-obra dispensada e o maior volume de produção permitido.

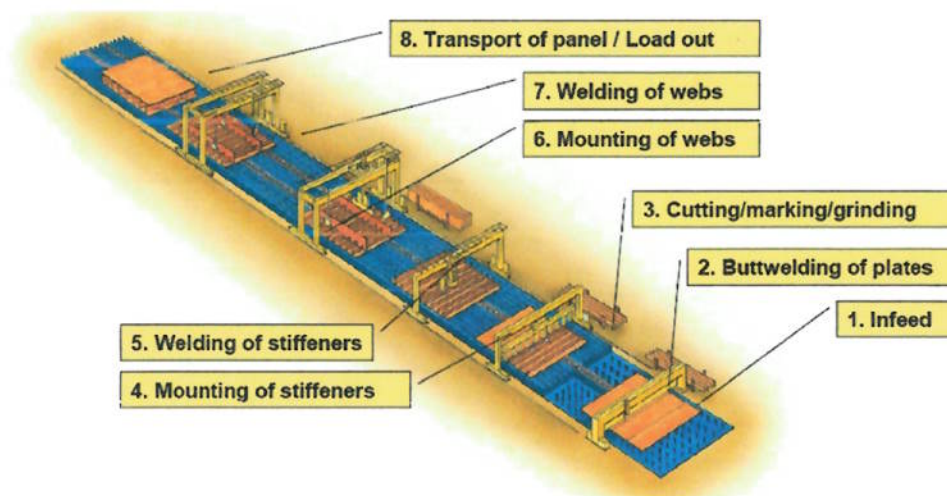


Figura 3 - Linha de Fabricação de Painéis Planos (FIRST MARINE INTERNATIONAL LIMITED, 2007)

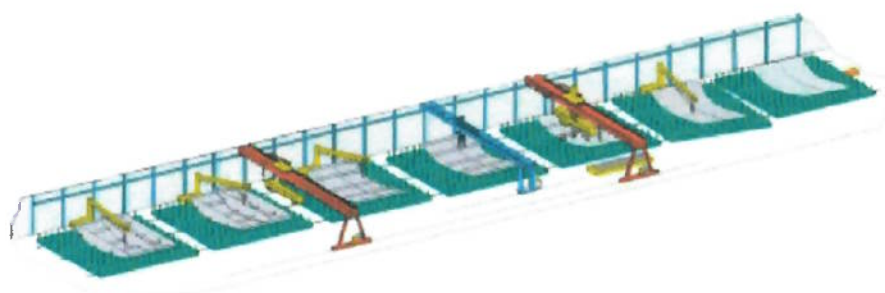


Figura 4 - Linha de Fabricação de Painéis Curvos (PINTO et al, 2007)

Durante a fabricação dos painéis, é importante a garantia de que a distância entre os reforçadores seja mantida. Isto porque os reforçadores do fundo são interligados com os reforçadores de anteparas e convéses complementando a estrutura global do navio.

Da mesma forma, as principais dimensões dos painéis devem estar dentro de tolerâncias que permitam a montagem das unidades ou blocos.

Sem um controle efetivo das tolerâncias de fabricação dos painéis, passa a ser necessária a inclusão de material extra para corte e soldagem incompleta de reforçadores para ajuste dos painéis e alinhamento dos reforçadores durante a montagem dos blocos.

Montagem de sub-blocos, blocos e seções

Uma vez fabricados, os painéis são agrupados entre si e somados a conjuntos de tubulações e outros sistemas, dando origem a sub-blocos ou diretamente a blocos. Posteriormente, os blocos podem ser soldados uns aos outros para formarem seções. Trata-se de um processo de montagem cujas características podem variar de estaleiro para estaleiro, em quesitos como grau de automação, terceirização de/para outros estaleiros e grau de pré-outfitting embutido.

Após o transporte dos painéis que o compõem nesta fase, o sub-bloco, bloco ou seção em construção não se movimenta necessariamente: ao contrário dos insumos e recursos, compostos em grande parte por soldadores e montadores, que realizam o pré-outfitting. Assim como no processo anterior, para uma demanda unitária ou pequena, a modelagem do sistema é a de projetos. Para demandas maiores, o roteiro semelhante de processos caracteriza esta etapa como produção intermitente repetitiva, de fluxo tipo flow-shop.

É importante ressaltar que, embora existam diferenças entre os diferentes sub-blocos, blocos ou seções, as semelhanças de materiais e processo justificam organizar a produção com roteiros bem definidos e interligados, usufruindo de ganhos de escala como se fossem produtos com elevado grau de padronização (ou idênticos).

A figura abaixo mostra o processo de montagem de um bloco. Neste exemplo, o bloco é feito a partir de três sub-blocos, compostos por dois painéis planos, um levemente curvado, e sub-montagens com a estrutura transversal.

Após a montagem dos painéis, os sub-blocos são virados e soldados.

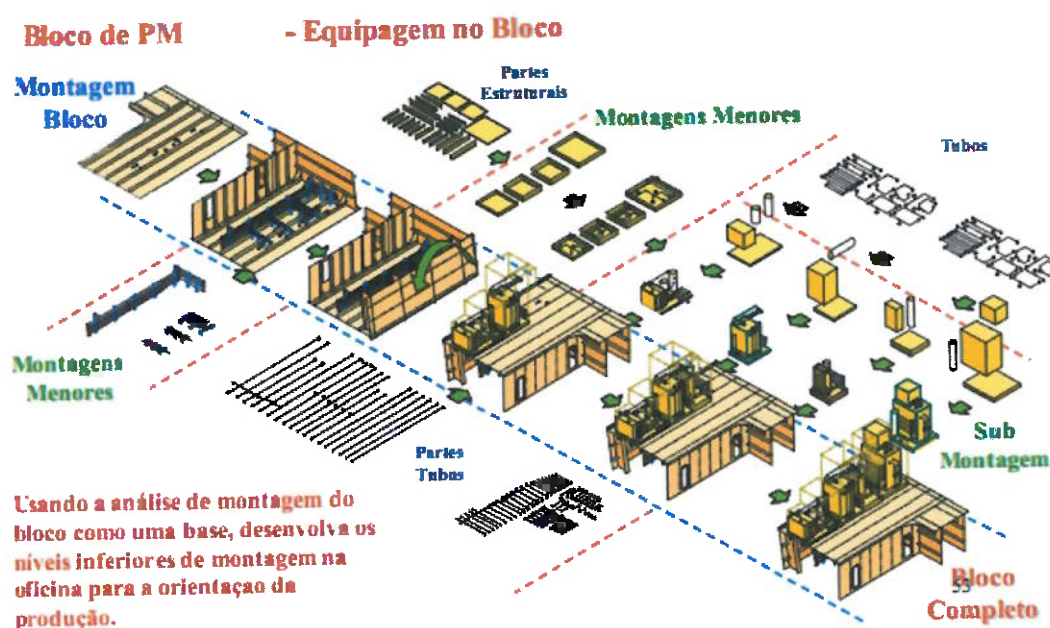


Figura 5 - Montagem de Blocos (PINTO et al, 2007)

Os processos de fabricação de painéis e montagem de sub-blocos, blocos e seções são intimamente interligados de tal forma que, no instante em que um sub-bloco é montado, seus painéis e partes integrantes devem estar disponíveis. Da mesma forma, no instante em que um bloco for montado, seus sub-blocos devem estar prontos, bem como os eventuais sistemas e equipamentos a serem montados no pré-outfitting. A melhor sincronização dos processos implica em menor tempo total de fabricação ou montagem e menor estoque de componentes em processo. Nesta etapa, a redução da necessidade de ajustes em função da precisão adequada na produção dos elementos que compõem o bloco permite a sincronização adequada dos processos aumentando de forma efetiva a produtividade do processo. Esta preocupação necessariamente será considerada na integração entre as etapas de produção.

Edificação:

O processo de edificação do navio, isto é, a sucessiva junção de blocos e/ou seções ao navio em construção no dique ou carreira, diferencia-se dos demais porque há relações de interdependência entre os processos envolvidos. Não é possível edificar um bloco de convés antes do fundo e costado, por exemplo. É um

processo lento, que ocorre concomitantemente à construção de blocos e outras atividades no estaleiro.

É também característica a existência de subprocessos que podem ocorrer em paralelo ao longo desta etapa, como a edificação de blocos em pontos diferentes do comprimento do navio ou em bordos diferentes, por exemplo. Essa relação não existe, por exemplo, nos processos de montagem de blocos. Embora dependente da sincronização com as etapas de montagem de sub-blocos e fabricação de painéis, a montagem em si de blocos diferentes é um processo completamente independente. Além disso, como visto anteriormente são caracterizados por uma seqüência linear de operações (flow-shop), sem paralelismos.

Outro aspecto relevante é que soldar blocos ou seções constitui processos demorados, de difícil execução, compostos por atividades pouco padronizáveis, como soldas de tipos, direções e comprimentos diferentes. Problemas verificados ao longo desses passos podem ainda afetar o desempenho financeiro do estaleiro, já que o cronograma de desembolso do armador (ou agente financiador) ao estaleiro está ligado a marcos de início e fim do processo de edificação: batimento de quilha e lançamento, respectivamente. .

Estas características apontam para um sistema de produção por projetos na edificação, para qualquer cenário de demanda.

O dique ou carreira onde o navio é edificado é freqüentemente apontado como gargalo da construção. Nestas condições, as datas em que os blocos ou seções devem ser edificados desencadeiam os processos de fabricação e montagem nas etapas associadas aos níveis mais baixos da estrutura de produto.

Nos estaleiros mais produtivos, a tolerância na fabricação dos blocos e no seu alinhamento no dique seco são considerados atividades estratégicas para a redução do tempo de edificação. A redução é conseguida pela possibilidade de automatizar o processo de soldagem do casco, sem a necessidade de maiores ajustes. Esta condição se torna possível com o forte controle das tolerâncias do processo de produção e alinhamento dos blocos



Figura 6 - Edificação de Blocos em Dique Seco (foto cedida pelo prof. Gerson Machado, 2010)

De acordo com o texto referente à pesquisa *Contribuições à eficiência produtiva de navios no Brasil através do planejamento, programação e controle da produção* (Pinto, 2001) a atividade de planejamento e programação do estaleiro é uma das atividades mais complexas tanto do ponto de vista do próprio estaleiro, como do ponto de vista do planejamento em si. As figuras 7 e 8 oferecem uma visão geral dos processos produtivos associados à construção naval em um estaleiro típico.

O fluxo 1-2-3-4-5-6 na figura 7 é o principal fluxo de produção do estaleiro. Outros fluxos alternativos como 1-4-5-6 (material que não sofre operações de fabricação) também existem e são comuns. Na figura 8 apresentam-se detalhes dos processos de construção naval. Por exemplo, uma placa de aço é recebida e fica no pátio da empresa até ser o momento de seu processamento. No momento correto a chapa é encaminhada para a oficina 1 que fará a fabricação de partes que serão usadas em painéis, construídos na oficina 2. Sendo o painel finalizado, o mesmo é encaminhado para a oficina 3 que faz a montagem de diversos painéis formando sub-blocos e blocos. Os blocos por sua vez são conjugados para se formar o navio no dique que, após o lançamento, é concluído no berço de acabamento.

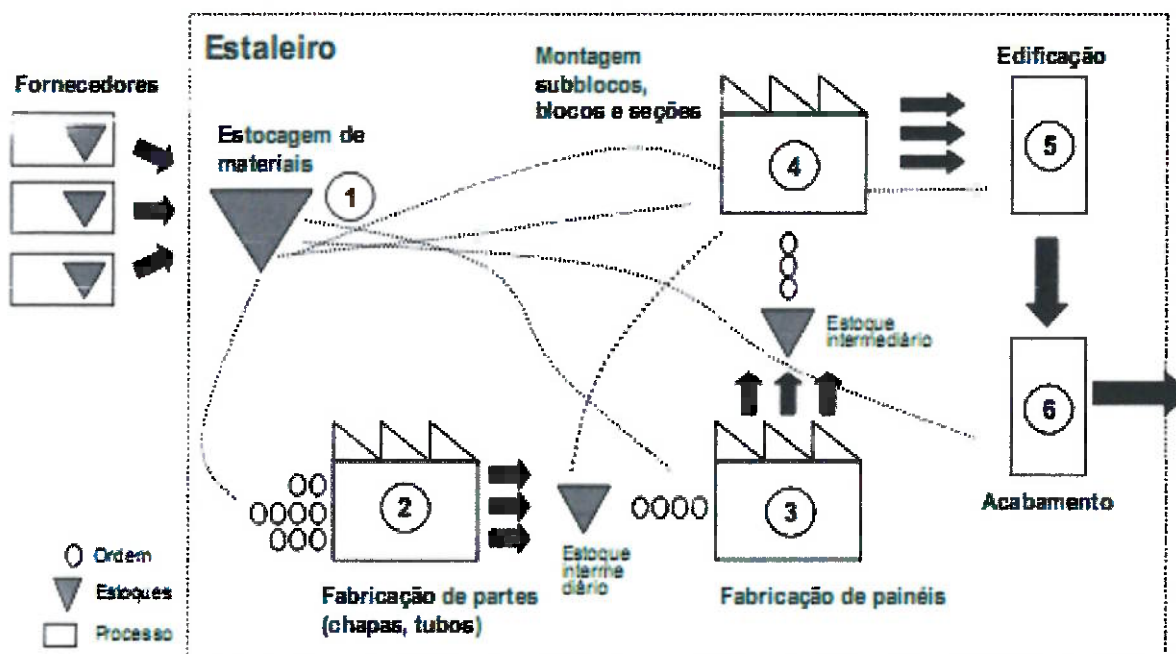


Figura 7 - Esquema Geral do Processo de Construção Naval em um Estaleiro (PINTO et al, 2007)

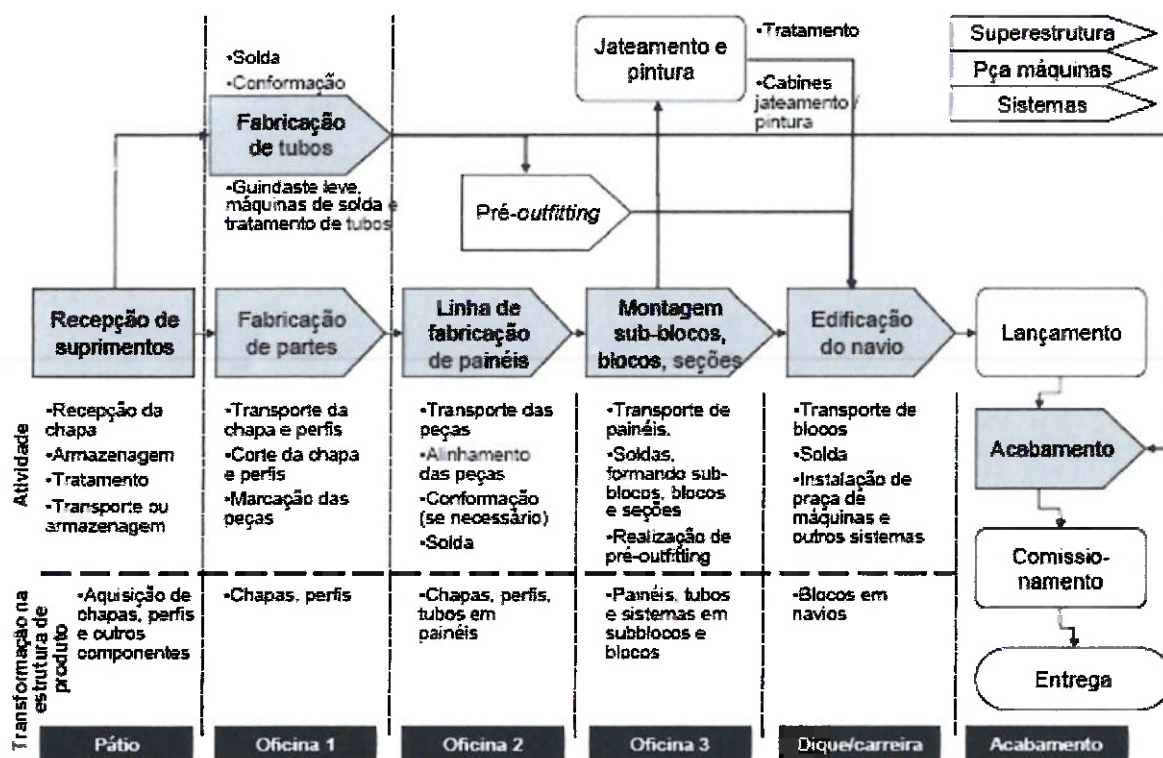


Figura 8 - Detalhes do processo de produção de um estaleiro (PINTO et al, 2007)

Diferentemente de outros segmentos da indústria metal-mecânica, a construção naval trabalha com índices e não com tempos-padrão. Tanto índices quanto tempos-padrão possuem a finalidade de identificar o tempo necessário para a execução de uma atividade de acordo com um método estabelecido. É evidente que a qualidade do planejamento e da programação está intimamente relacionada com a qualidade das entradas e uma das entradas mais importantes do processo de planejamento é o tempo requerido para a realização das atividades.

Sob o ponto de vista do método de trabalho, os índices são menos precisos e um bom indício do tempo a ser requerido numa atividade no futuro é o tempo gasto na última realização. Como no Brasil a produção muitas vezes é descontínua, é possível que haja uma oportunidade em se utilizar mais elementos de cronoanálise e tempos e métodos (Barnes, 1983; Toledo Jr. e Kuratomi, 1983 apud Pinto et al, 2007) do que tem ocorrido. Visitas em campo mostraram uma grande irregularidade nos métodos de trabalho utilizados o que seguramente indica uma oportunidade de padronização dos métodos pelos operários mais eficientes. Obviamente que como toda padronização, há uma forte rejeição caso a mesma não venha acompanhada de alguma contrapartida em termos de benefícios ao trabalhador.

Um argumento freqüentemente usado para se evitar padronizar atividades em construção naval é que elas são muito diversificadas. Como observado anteriormente, a essência de um sistema de produção de construção naval é não repetitivo, entretanto, é importante salientar que muitas das atividades são realizadas repetidamente. Por exemplo, instalações, soldagem e posicionamento de blocos são realizados um grande número de vezes em cada navio, o que indica um alto potencial de padronização.

Métodos e tempos-padrão requerem processos padrão. A documentação básica do estaleiro é o desenho e o processo de produção é armazenado informalmente com os trabalhadores da produção, isto é, o supervisor em maior medida e os operários mais experientes. Embora uma afirmação segura careça de informações adicionais, a impressão é que o processo de coleta de índices não realimenta o processo de planejamento de uma forma rápida e consistente. Esse problema é um dos elementos que alimentam a dificuldade em se fazer o planejamento ser colocado em prática.

De acordo o estudo de Tom Lamb, (2001) as vantagens mais significativas do processo de construção de navios em blocos são: a alta produtividade que pode ser imposta ao processo e maior redução de custos. Mas, para se obter estas vantagens, há a necessidade de se impor uma maior precisão na montagem e, portanto, há também a necessidade de um maior investimento no planejamento e controle das tolerâncias.

3 ESTATÍSTICA APLICADA AO CONTROLE DE TOLERÂNCIAS NA FABRICAÇÃO ESTRUTURAL NAVAL

De acordo com *Ship Production* (HAMMON et al, 1995). a análise estatística aplicada ao controle de tolerâncias é baseada na constatação de que não existe processo ou sistema de produção cujos resultados são sempre iguais após repetidas operações. Portanto, a precisão destes processos é identificada quando há homogeneidade nos resultados de medições repetidas que são agrupadas com pouca dispersão durante a realização dos processos.

As variações dimensionais em produtos realizados através de um processo de trabalho é resultado da capacidade de precisão do processo considerando trabalhadores, máquinas, ferramentas, materiais e procedimentos.

As causas das variações nas dimensões do produto após o processo de produção podem ser classificadas de duas formas: causas comuns e erros do processo.

Causas comuns são responsáveis por variações que se repetem ao longo do processo, caracterizando a sua precisão.

Os erros do processo são atos devido à ignorância ou deficiência ou acidentes do processo de produção que causam distorções em relação aos valores especificados para o processo. Não se espera que ocorram erros em um processo de trabalho.

Se a dispersão dos resultados de um produto em um processo de trabalho não caracterizar uma faixa de precisão, ou em um determinado momento à variação do processo tende a dispersão, é necessário intervir no processo, identificar as causa e tomar providências para que a dispersão seja reduzida.

Todo processo de trabalho repetitivo gera produtos com variações em suas características. Na fabricação de barras chatas, por exemplo, haverá produtos com diferenças nas suas dimensões em relação àquelas especificadas no projeto. Essas variações, quando registradas em um gráfico que as relaciona ao número de vezes em que elas ocorrem durante o processo de produção, indicam uma "distribuição normal" (estatística).

Sabe-se da estatística que parâmetros descrevem uma distribuição normal!

São eles:

A média X - resultado da soma das variações encontradas dividida pelo número de medidas efetuadas em uma amostra que descreve a tendência central da distribuição.

Desvio Padrão σ - classifica o tamanho das variações a partir da média ponderada de seus valores em relação à sua frequência de ocorrência. Representa a distribuição das variações encontradas em relação à média.

Em uma distribuição normal, 68% dos valores ocorrem dentro de um desvio padrão. Ou seja, em cada 100 barras, 67 podem ter diferenças cujos valores estão dentro dos limites do desvio padrão. 95% dos valores de uma amostra ocorrem dentro de 2 desvios padrões e 99,7% ocorrem em 3 desvios padrões e assim por diante.

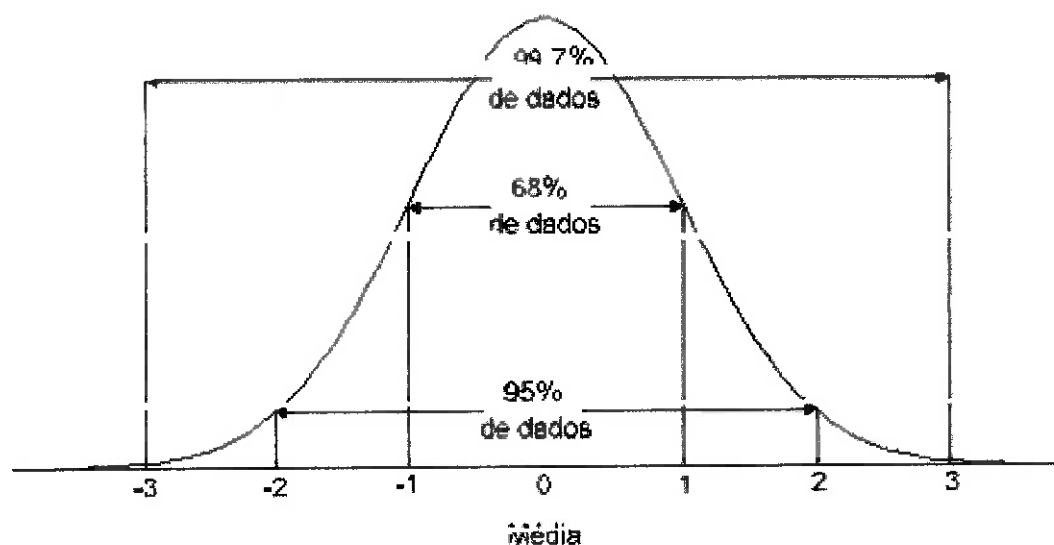


Figura 9 - Distribuição Normal (FERNANDES, 1999)

É importante evidenciar que o planejamento e controle de tolerâncias se concentram em processos de produção cuja análise de amostras obtidas apresenta resultados que podem ser representados por uma distribuição normal.

Considerações similares podem ser feitas a diversos processos de produção, como o espaçamento entre reforçadores de um painel, durante a produção de painéis. Neste caso, a distribuição das variações das medidas do espaçamento

entre reforçadores também poderá ser representada por uma distribuição normal, com a sua média e desvio padrão específicos.

Os navios são produzidos a partir da fabricação de partes que depois são unidas criando as sub-montagens. Então, essas sub-montagens são combinadas através de processos de produção específicos para a formação das unidades, blocos, seções e finalmente, o próprio navio. As técnicas de produção em série, podem ser utilizadas na fabricação de vários produtos intermediários necessários à construção do navio.

Quando cada processo de produção está controlado estatisticamente, a distribuição normal dos valores dimensionais dos produtos resultantes (média e desvio padrão) pode ser determinada. Baseado nestes dados é possível prever estatisticamente, a variação dimensional de todos os produtos resultantes dos processos interligados utilizados na fabricação do navio.

Consideremos a combinação de dois processos de produção, o de corte de barras chatas e o espaçamento entre reforçadores em um painel. A média da necessidade de ajustes e o seu desvio padrão no processo de instalação das barras entre os reforçadores do painel podem ser determinados pelos dados estatísticos dos processos de fabricação das barras e instalação dos reforçadores individualmente. Além de se poder determinar a média e o desvio padrão do número de ajustes no processo de instalação das barras, também é possível identificar qual dos dois processos predecessores tem maior influência na composição destes dados.

Se um produto tem uma tolerância dimensional especificada, através de uma análise reversa, podem se estabelecer metas de tolerâncias para cada etapa intermediária do processo de produção que assegurem a precisão final desejada. Desde que se conheça a precisão dos processos intermediários, estratégias podem ser estabelecidas para esses processos, com o objetivo de se alcançar os níveis de tolerâncias requeridos no processo final. O objetivo final desta análise é obter redução nas variações dimensionais e/ou reduzir o desvio padrão dessas variações.

Ainda de acordo com o *Ship Production* (HAMMON et al, 1995), desvios padrão de subprocessos de produção independentes podem ser somados para que seja determinado o desvio padrão esperado do processo da construção como um todo. Desta forma, um desvio padrão de todo o processo de produção de um bloco pode ser expresso como:

$$Z = \Sigma F_i + \Sigma S_i + \Sigma M_i + \Sigma E_i$$

onde:

ΣF_i = desvios associados de todos os processos de fabricação;

ΣS_i = desvios associados de todos os processos de sub-montagem;

ΣM_i = desvios associados de todos os processos de montagem de blocos e;

ΣE_i = desvios associados de todos os processos de edificação.

Esta equação é conhecida como a equação dos desvios compostos para a fabricação do casco.

A equação dos desvios compostos se baseia no teorema da adição de variâncias. Variância é simplesmente o quadrado do desvio padrão. Para distribuições independentes, como aquelas que representam a performance normal em processos de trabalho, o teorema da adição das variâncias estabelece:

$$\sigma_f^2 = \sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 + \dots = \Sigma \sigma_i^2$$

onde σ_i é o desvio padrão dos processos intermediários e σ_f^2 é o desvio padrão do processo final.

Uma linha de produção consiste de processos de trabalhos organizados sequencialmente.

A eficiência de um processo de trabalho depende de um fluxo contínuo das atividades, coordenado com outros processos da linha de produção. A precisão dos processos intermediários é então crucial para que este fluxo não seja interrompido. Mesmo pequenos retrabalhos, podem prejudicar a vantagem econômica de uma linha de produção. Portanto, na etapa de planejamento das fases de construção de um navio, os engenheiros responsáveis devem considerar a precisão da sua capacidade produtiva.

Os responsáveis pelo planejamento das tolerâncias devem ter bons sistemas para coletar e avaliar os dados referentes à precisão dos processos de trabalho. Na ausência de tais dados, as seguintes questões devem ser consideradas:

- Quais dimensões são vitais para se obter a precisão requerida?
- Como a precisão requerida poderá ser alcançada?

- Em que processos de trabalho as dimensões vitais devem ser controladas?
- Quais as tolerâncias que devem ser impostas a cada processo de trabalho?

Sem especificar as tolerâncias necessárias para cada processo de trabalho intermediário, não há como controlar a precisão acumulada ao final do processo completo.

As tolerâncias na construção naval podem ser classificadas em dois grupos:

Tolerâncias do produto final, onde algumas são fixas, como aquelas estabelecidas pelas sociedades classificadoras, e outras que podem ser negociadas, como às que são requeridas pelos armadores.

Tolerâncias dos produtos intermediários, que são estabelecidos pelos estaleiros para garantir as tolerâncias do produto final e simultaneamente, maximizarem a produtividade (normalmente, as tolerâncias associadas à produtividade são mais apertadas do que aquelas impostas pelas sociedades classificadoras).

Um importante aspecto do controle de tolerâncias na construção naval é a dificuldade comumente encontrada na união de blocos durante a edificação do casco. Os elementos estruturais que não estiverem dentro dos limites de tolerância necessários para a execução da união dos blocos, devem ser ajustados utilizando corte das chapas e soldagem de tiras de chapas de aço (*backing strips*), quando o desalinhamento ocorre nas chapas que compõem o casco. Em se tratando dos reforçadores, são desalinhadas as extremidades entre os blocos, causando, em alguns casos, perda da resistência a flambagem destes reforçadores. Aplicar o controle de tolerância nas atividades iniciais do processo de fabricação do bloco é mais produtivo do que lidar com desalinhamentos que podem exigir a realização de trabalhos em pontos relativamente inacessíveis ou perigosos dentro do dique de edificação ou no interior dos blocos.

Hammon et al (1995) sugerem que o controle de tolerâncias começa com a análise estatística das variações geradas em cada processo de trabalho necessário para a edificação do casco, incluindo a montagem dos blocos, as sub-montagens, pré-fabricação, corte de chapas e projeto. Quando os registros de cada um desses processos de trabalho são plotados relacionando a frequência de ocorrência das variações com as suas grandezas, normalmente seguem a curva de distribuição normal (Gaussiana), se o processo for realizado repetitivamente, sem alteração. A

utilização de processos repetitivos é a chave para a produtividade no processo de construção de navios, utilizando tecnologia de grupo como sistema de produção, e também para a validação da análise estatística destes processos. Obter a média e o desvio padrão de cada processo permitem, entre outros:

- Definir a média e o desvio padrão das variações na edificação como uma combinação das médias e desvios padrões dos processos intermediários,
- Estabelecer uma seqüência e prioridade para a redução da tolerância, para reduzir a tolerância acumulada ao final do processo,
- Estabelecer padrões de precisão,
- Revisar procedimentos de trabalho e controle de tolerâncias e
- Orientar melhorias no detalhamento de projetos para minimizar requisitos de tolerâncias mais justas.

Geralmente, os processos que requerem análise estatística são:

a) Fabricação de peças

- Marcação;
- Corte; e
- Curvamento.

b) Sub-montagens

- Pré-montagem;
- Soldagem; e
- Carenamento.

c) Montagem de blocos

- Ajuste e pré-montagem de chapas;
- Marcação;
- Corte;
- Montagem e ajuste;
- Soldagem; e
- Pré-montagem e soldagem dos elementos internos

d) Edificação

- Posicionamento; e
- Soldagem

As atividades de controle de tolerâncias devem ser envolvidas com os processos de planejamento, execução (trabalho de campo) e controle, (análise e *feedback*). Um sistema de planejamento e controle de tolerâncias exige da organização:

Um gestor com responsabilidades e influência nos processos de planejamento, execução e controle das atividades.

- A inclusão dos dados no processo de design e especificação de aquisições,
- Pessoas com qualificação em engenharia voltada para o controle de tolerâncias em áreas como projeto do casco, grupo de planejamento e produção.
- Um sistema de planejamento e controle de tolerância é altamente dependente da integração do processo de produção e da organização e fluxo das informações das tolerâncias verificadas ao longo do processo.

Se considerarmos toda a cadeia produtiva relacionada com a construção naval, o planejamento e controle de tolerâncias se relacionam praticamente com todas as nove áreas do conhecimento especificadas pelo PMI® no PMBOK® pois afeta a produtividade do processo, influenciando, principalmente no tempo de realização do projeto.

4 NORMALIZAÇÃO DE TOLERÂNCIAS EM PROCESSOS DE FABRICAÇÃO E MONTAGEM ESTRUTURAIS

Os valores contidos nas tabelas a seguir foram obtidos definidos pelo *U.S. Department of Transportation – Maritime Administration* – em cooperação com *Todd Pacific Shipyards Corporation*. O trabalho de avaliação das tolerâncias da produção nos estaleiros envolvidos no processo, iniciou em 1985, quando foram contatados à fornecer dados dos seus processos de produção, desde que estivessem estatisticamente estáveis. Os dados recebidos, foram então combinados e resultaram nas tabelas abaixo que serviram como uma orientação para a realização de projetos, ou objetivos a serem alcançados nos processos em desenvolvimento na época. É fundamental que seja observado que este tipo de iniciativa permite a construção de embarcações em vários “sites”, permitindo uma especialização regionalizada envolvendo mais de um estaleiro no processo de produção.

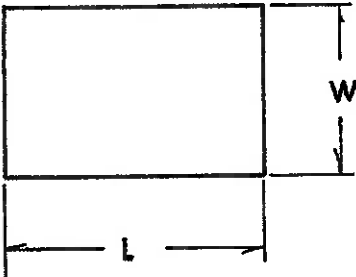
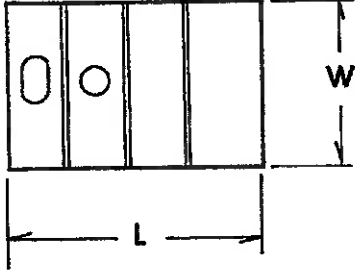
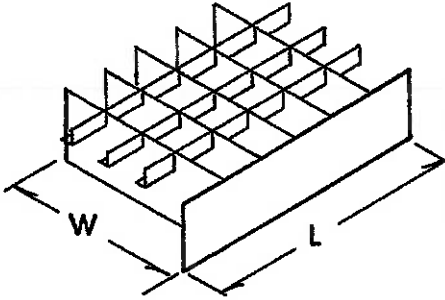
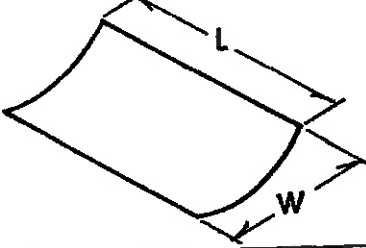
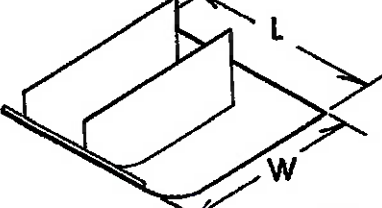
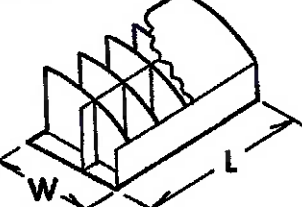
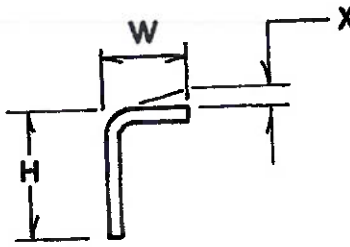
3.2.1					
ACCURACY PHASE I					
Dimensions in Inches					
Item	Manufacturing Level	Dimension	Standard Range	Tolerance Limit	
PLATE	PART FABRICATION		Length - L	$\pm .092$	$\pm .138$
			Width - W	$\pm .086$	$\pm .129$
			Diagonals	$\pm .137$	$\pm .205$
	SUB-BLOCK ASSEMBLY		Length - L	$\pm .198$	$\pm .297$
			Width - W	$\pm .220$	$\pm .332$
			Diagonals	$\pm .334$	$\pm .501$
	SEMI-BLOCK AND BLOCK ASSEMBLY		Length - L	$\pm .268$	$\pm .402$
			Width - W	$\pm .495$	$\pm .743$
			Diagonals *	$\pm .157$	$\pm .315$

Tabela 1 - Normatização de tolerâncias (1)

3.2.2

ACCURACY PHASE 1

Dimensions in Inches

Item	Manufacturing Level	Dimension	Standard Range	Tolerance Limit
CURVED PLATE	PART FABRICATION 	Length - L *	± .098	± .197
		Width - W *	± .098	± .197
	SUB-BLOCK ASSEMBLY 	Length - L *	± .157	± .236
		Width - W *	± .157	± .236
	SEMI-BLOCK AND BLOCK ASSEMBLY 	Length - L *	± .157	± .236
		Width - W *	± .157	± .236
FLANGED PLATE	PART FABRICATION 	Flange Width - W *	± .118	± .197
		Section Height - H *	± .079	± .118
		Accuracy of Bend - X *	± .098 per 3.9 inches	± .177 per 3.9 inches

* See comment on page 2

Tabela 2 - Normalização de tolerâncias (2)

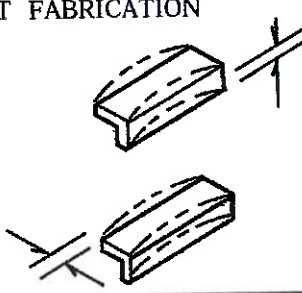
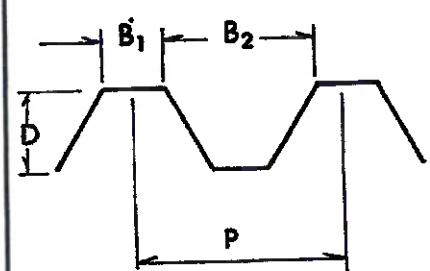


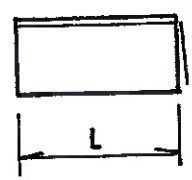
3.2.3				
ACCURACY PHASE I				
Dimensions in Inches				
Item	Manufacturing Level	Dimension	Standard Range	Tolerance Limit
FLANGED PLATE (cont.)	PART FABRICATION 	Curvature in Plane of Flange *	$\pm .394$ per 33 feet	$\pm .984$ per 33 feet
		Curvature in Plane of Web *	$\pm .394$ per 33 feet	$\pm .984$ per 33 feet
CORRUGATED LATE	PART FABRICATION 	Depth of Corrugation	$\pm .118$	$\pm .236$
		Width of Corrugation B *	$B_1: \pm .118$ $B_2: \pm .118$	$B_1: \pm .236$ $B_2: \pm .236$
		Pitch of Corrugation P *	$\pm .098$	$\pm .197$
ROLLED PLATE	PART FABRICATION 	Diameter - D *	$\pm .197$	$\pm .295$
BUILT-UP PLATE SECTION	PART FABRICATION 	Face Plate Distortion - X *	$\pm .059$	$\pm .118$
STRUCTURAL SHAPES	PART FABRICATION 	Deviation of Fitted Length - L	$\pm .131$	$\pm .196$
		Squareness of Endcut	$\pm .102$	$\pm .153$

Tabela 3 - Normatização de tolerâncias (3)


3.2.4				
ACCURACY PHASE 1				
Dimensions in Inches				
Item	Manufacturing Level	Dimension	Standard Range	Tolerance Limit
MARKING	CUTTING AND FITTING LINES FOR GENERAL HULL MEMBERS	Size and Shape	$\pm .079$	$\pm .118$
		Corner Angle*	$\pm .059$ per 39 inches	$\pm .079$ per 39 inches
		Curvature* 	$\pm .039$	$\pm .059$
		Member Location*	$\pm .079$	$\pm .118$
		Block Marking*	$\pm .098$	$\pm .138$

Tabela 4 - Normatização de tolerâncias (4)

Os valores acima foram considerados por outros estaleiros como referência inicial a ser alcançado através da utilização de dispositivos que aumentassem a precisão do processo de produção.

5 O PLANEJAMENTO E CONTROLE DA TOLERÂNCIA

De acordo com o *Ship Production* (HAMMON et al, 1995), o planejamento das tolerâncias na fabricação estrutural, segue as seguintes etapas: Planejamento Preliminar, Planejamento Detalhado e Padronização.

5.1 Planejamento Preliminar

O planejamento preliminar se inicia a partir da divisão da estrutura em blocos, onde contribui na definição da sua geometria, tendo como parâmetro a tolerância necessária para união dos blocos sem que haja necessidade de se realizar qualquer atividade além do posicionamento e soldagem.

Nesta etapa é fundamental definir blocos que facilitem o trabalho de sua montagem, outfitting e a soldagem de seus elementos de forma apropriada.

No planejamento preliminar, os engenheiros responsáveis devem ter acesso a desenhos como o arranjo geral, arranjo estrutural, seção mestra, plano de linhas, esquema de divisão de blocos e expansão do chapeamento.

A partir das informações da precisão do processo de produção, nas etapas de fabricação, submontagem das unidades, montagem dos blocos e edificação, pode-se definir a melhor sequência de trabalho, utilizando as equações de correlação de tolerâncias.

Como resultado deste trabalho, teremos documentos chaves, como expansão de chapeamento, plano de montagem de blocos e instruções de trabalho de edificação com as tolerâncias estabelecidas.

5.2 Planejamento Detalhado

O planejamento detalhado das tolerâncias permite que sejam identificadas as etapas de produção cuja precisão mais influencia nas medidas finais dos blocos. Permite também identificar quais etapas precisam ser reavaliadas para que seja possível atingir a meta de tolerância estabelecida para cada bloco.

No planejamento detalhado inicialmente são identificados os requisitos de tolerância especificados pelo armador, sociedade classificadora (principalmente as tolerâncias recomendadas para o alinhamento de elementos estruturais antes da soldagem). Através da análise reversa das etapas de produção, são identificados os pontos cujas dimensões são vitais e que devem ser mantidas durante a edificação, montagem dos blocos e assim por diante como na tabela da figura abaixo.

Pontos vitais	Exemplos	Nível de importância
Dimensões do casco.	1-alinhamento e altura em relação à linha de base.	1-atender classificação.
	2-dimensão da boca moldada em vários pontos.	2-estabelecer capacidade de carga.
	3-volume do casco – offsets do bojo/costado	3-atender requerimentos do armador
	4-medidas de tancagem.	4- <i>feedback</i> ao sistema de controle de tolerância
		5- <i>feedback</i> para estabelecimento de padrões
		6-afeta a produtividade da edificação
Cruzamentos na estrutura do casco em juntas de topo.	1-offsets do chapeamento do casco nas juntas.	1-afeta a resistência e requer desempenho durante a fabricação
	2-offsets do costado	2- <i>feedback</i> ao sistema de controle de tolerância
		3- <i>feedback</i> p/ classificadora
		4-afeta a produtividade da fabricação

Tabela 5 - Pontos e Dimensões Vitais (HAMMON, 1995)

A partir da análise destes pontos é possível garantir que, através das instruções de trabalho e outros meios, o pessoal responsável pela elaboração dos documentos de corte de chapas e responsáveis pelas demais etapas de produção tenham as informações necessárias, como “checkpoints” e linhas de referências que

devem ser incluídos em dados de equipamentos com controle numérico (N/C). gabaritos e folhas de acompanhamento de obra (FAOS).

A avaliação da tolerância necessária para a execução das diversas etapas deve constar da EAP do projeto da construção naval.

De acordo com o PMBOK, a EAP é uma decomposição hierárquica orientada à entrega do trabalho a ser executado pela equipe do projeto, para atingir os objetivos do projeto e criar as entregas necessárias. A EAP organiza e define o escopo total do projeto. A EAP subdivide o trabalho do projeto em partes menores e mais facilmente gerenciáveis, em que cada nível descendente da EAP representa uma definição cada vez mais detalhada do trabalho do projeto. É possível agendar, estimar custos, monitorar e controlar o trabalho planejado contido nos componentes de nível mais baixo da EAP, denominados pacotes de trabalho.

Entre as saídas do processo de criação da EAP, está o Dicionário da EAP.

Ainda de acordo com o PMBOK®, o documento gerado pelo processo Criar EAP que dá suporte à EAP é denominado Dicionário da EAP e é um documento complementar da EAP. O conteúdo detalhado dos componentes contidos em uma EAP, inclusive pacotes de trabalho e contas de controle, pode ser descrito no dicionário da EAP. Para cada componente da EAP, o dicionário da EAP inclui um código do identificador de conta, uma declaração do trabalho, a organização responsável e uma lista de marcos do cronograma. A informação adicional sobre um componente da EAP pode incluir informações de contrato, requisitos de qualidade e referências técnicas para facilitar o desempenho do trabalho. A informação adicional sobre uma conta de controle poderia ser um número de cobrança. A informação adicional sobre um pacote de trabalho pode incluir uma lista das atividades associadas do cronograma, os recursos necessários e uma estimativa de custos. São feitas referências cruzadas de cada componente da EAP, conforme adequado, para outros componentes da EAP no dicionário da EAP.

O processo de elaboração da EAP do projeto de construção naval tem como entrada os requisitos do produto e aqueles necessários a realização das atividades do projeto. Nesta etapa é que devem ser especificadas as tolerâncias requeridas aos processos de produção, definidas as atividades de avaliação da precisão desses processos e as ações a serem tomadas para os ajustes requeridos.

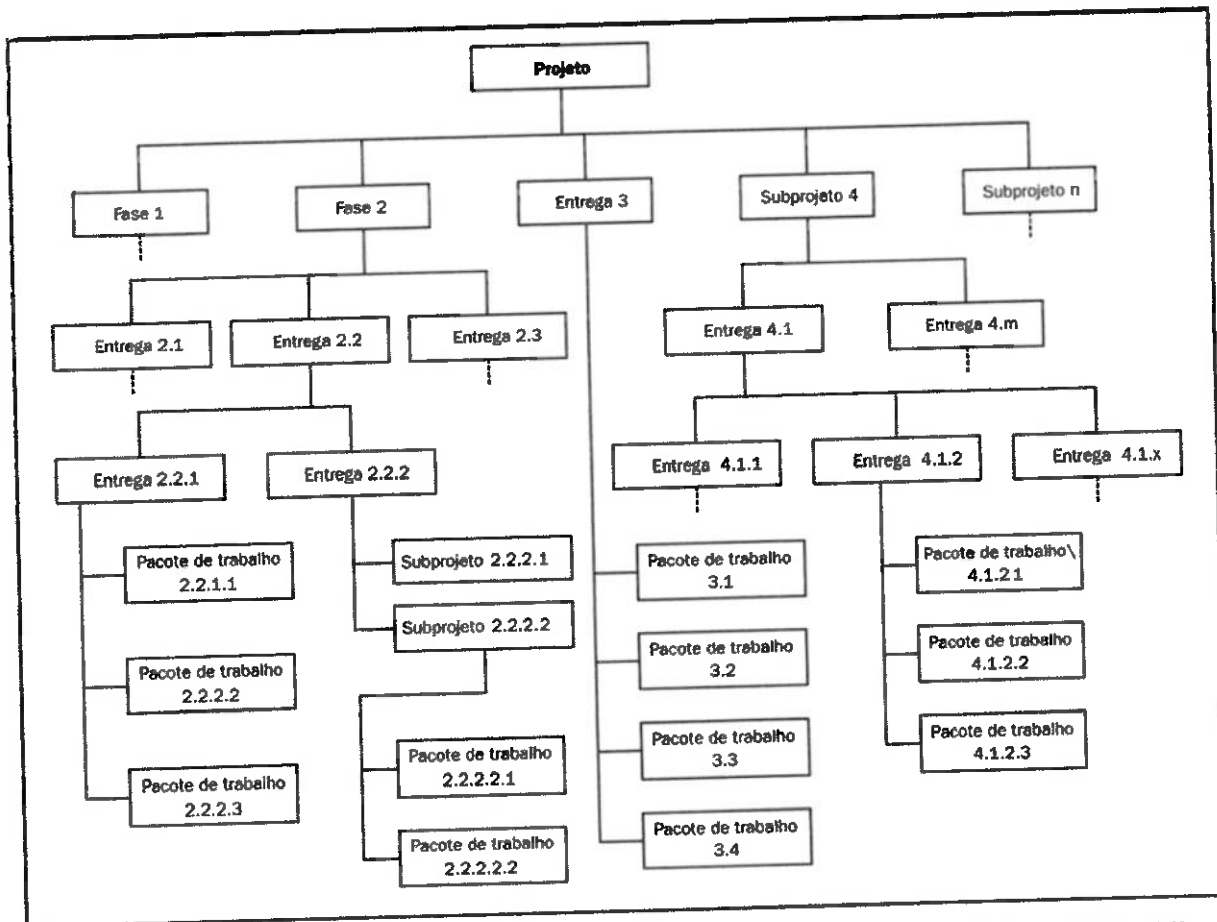


Figura 10 - EAP Básico de um Projeto (PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE, 2004)

Para o PMI®, o gerenciamento de tempo do projeto inclui os processos necessários para realizar o término do projeto no prazo. Os processos de gerenciamento de tempo do projeto incluem as seguintes:

- Definição da atividade – identificação das atividades específicas do cronograma que precisam ser realizadas para produzir as várias entregas do projeto.
- Sequenciamento de atividades – identificação e documentação das dependências entre as atividades do cronograma.
- Estimativa de recursos da atividade – estimativa do tipo e das quantidades de recursos necessários para realizar cada atividade do cronograma.
- Estimativa de duração da atividade – estimativa do número de períodos de trabalho que serão necessários para terminar as atividades individuais do cronograma.

- Desenvolvimento do cronograma – análise dos recursos necessários, restrições do cronograma, durações e seqüências de atividades para criar o cronograma do projeto.
- Controle do cronograma – controle das mudanças no cronograma do projeto.

Esses processos interagem entre si e também com processos de outras áreas de conhecimento. Cada processo pode envolver o esforço de uma ou mais pessoas ou de grupos de pessoas, com base nas necessidades do projeto. Cada processo ocorre pelo menos uma vez em todos os projetos e ocorre em uma ou mais fases do projeto, se o projeto estiver dividido em fases.

No processo de estimativa de duração das atividades, devem ser considerados os riscos da estimativa não se concretizar. Na fabricação de estruturas navais, o risco da estimativa do tempo de realização das atividades não se concretizar está exatamente na possibilidade da atividade predecessora não ter sido realizada com a precisão adequada. Na maioria das vezes, quando isto ocorre na fabricação de painéis, por exemplo, é na montagem das unidades que será gasto maior tempo e recursos para ajustar o painel à unidade. Com o intuito de não ter de refazer o painel, normalmente o encarregado da fabricação do painel não conclui a solda dos reforçadores deixando a conclusão para ser realizada em condições mais adversas, mas permitindo ajustes durante a montagem das unidades.

O planejamento e controle das tolerâncias na fabricação estrutural têm como objetivo exatamente evitar este desperdício de tempo e recursos, reduzindo, ou até eliminando, este tipo de problema.

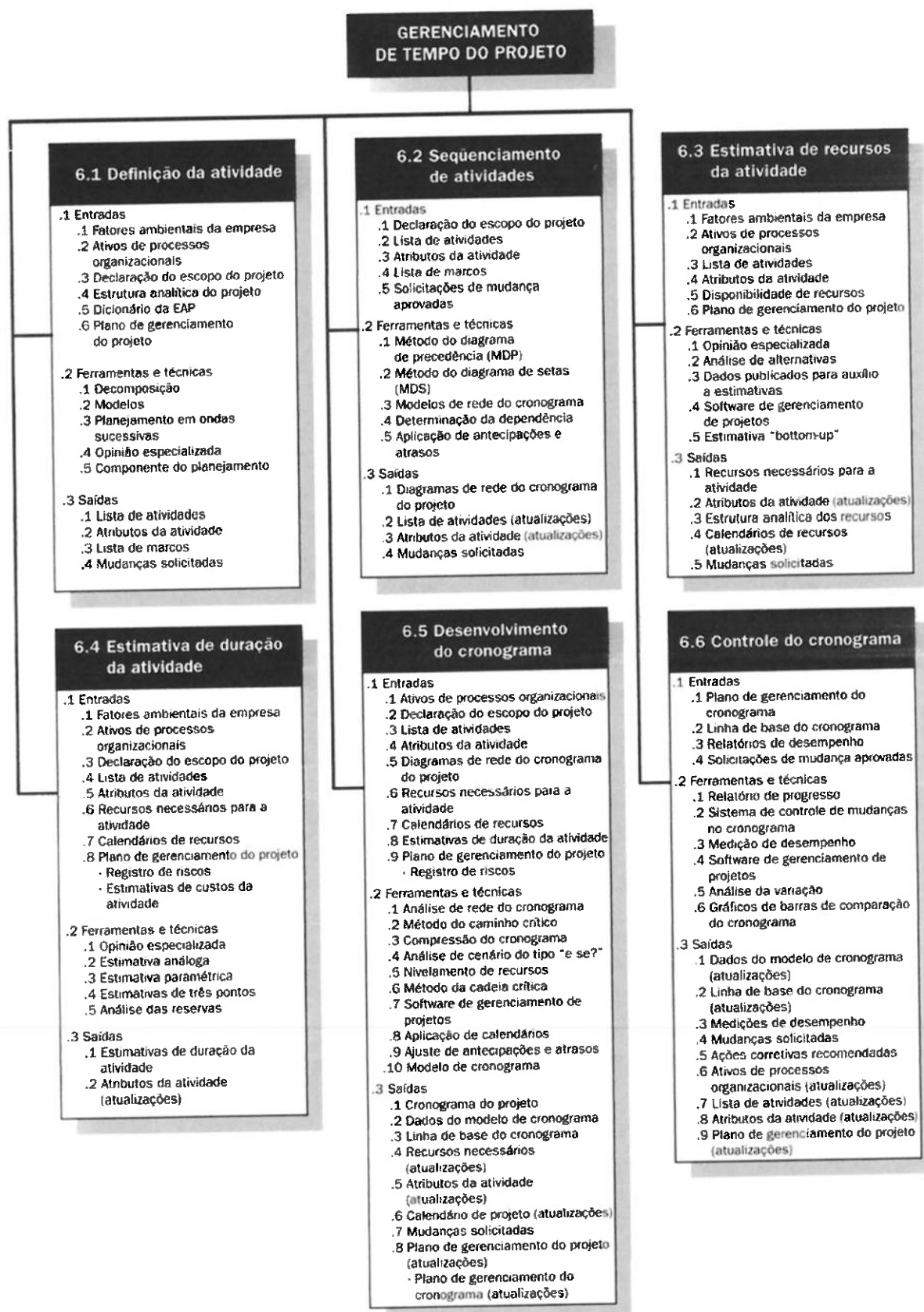


Figura 11 - Processos de Gestão do Tempo (PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE, 2004)

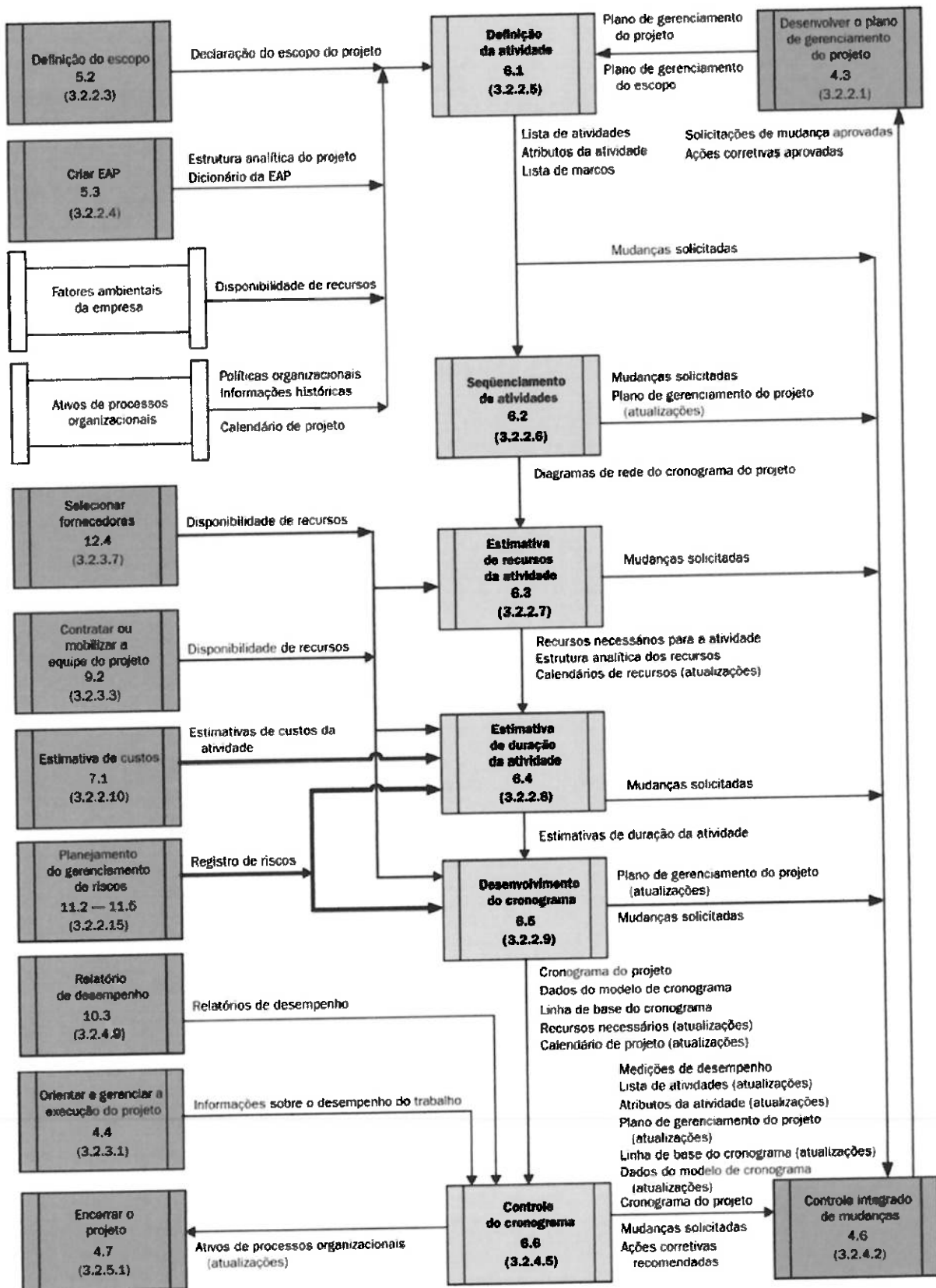


Figura 12 - Interações dos Processos de Gestão do Tempo (PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE, 2004)

Assim como um sistema de planejamento e controle de tolerâncias influencia a definição do escopo do produto e do projeto, é na gestão do tempo que o sistema tem maior impacto. A figura acima mostra este impacto e também a influência em outras áreas da gestão de projetos.

O controle das tolerâncias durante o processo de fabricação da estrutura naval deve estar incorporado nos processos de gestão da qualidade do projeto. A inserção ocorre quando se incorpora aos requisitos de cada pacote de trabalho as tolerâncias especificadas na etapa do planejamento.

De acordo com o PMI®, os processos de gerenciamento da qualidade do projeto incluem todas as atividades da organização executora que determinam as responsabilidades, os objetivos e as políticas de qualidade, de modo que o projeto atenda às necessidades que motivaram sua realização. Eles implementam o sistema de gerenciamento da qualidade através da política, dos procedimentos e dos processos de planejamento da qualidade, garantia da qualidade e controle da qualidade, com atividades de melhoria contínua dos processos conduzidos do início ao fim, conforme adequado.

Os processos de gerenciamento da qualidade do projeto incluem os seguintes:

- Planejamento da qualidade – identificação dos padrões de qualidade relevantes para o projeto e determinação de como satisfazê-los.
- Realizar a garantia da qualidade – aplicação das atividades de qualidade planejadas e sistemáticas para garantir que o projeto emprega todos os processos necessários para atender aos requisitos.
- Realizar o controle da qualidade – monitoramento de resultados específicos do projeto a fim de determinar se eles estão de acordo com os padrões relevantes de qualidade e identificação de maneiras de eliminar as causas de um desempenho insatisfatório.

Esses processos interagem entre si e também com os processos nas outras áreas de conhecimento. Cada processo pode envolver esforço de uma ou mais pessoas ou grupos de pessoas, dependendo das necessidades do projeto. Desta forma, o sistema de controle de tolerâncias, incorporado aos processos de

gerenciamento da qualidade passa a ser controlado da mesma forma que os demais requisitos do projeto.

6 METROLOGIA INDUSTRIAL EM GRANDES DIMENSÕES APLICADA A INDÚSTRIA NAVAL

De acordo com Shoji Takechi (2002), a precisão na construção e posicionamento dos blocos que compõe um navio, na fase de edificação, tem uma grande influência nos custos associados à construção. É a precisão na fabricação e montagem dos blocos, assim como a precisão no seu posicionamento no local de edificação, que permite a eliminação do trabalho desnecessário na realização de ajustes e a automação na etapa de união das unidades, blocos e megablocos.

Para realizar a medição dos elementos estruturais em cada etapa da edificação, são utilizados sistemas que combinam instrumentos de medição direta através de dispositivos óticos, acústicos, radiológicos e a laser com sistemas computadorizados. Entre eles estão os sistemas conhecidos como ECDS (Electronic Coordinates Determine Systems).

Os processos de medição, utilizando essas ferramentas são desenvolvidos através da metrologia industrial em grandes dimensões aplicada à indústria naval.

No "paper" *Advanced Industrial Measurement Systems for Productive Shipbuilding* (Horsmon, 1990), são avaliados entre outros, os três principais sistemas de medição mais utilizados na indústria naval:

- Teodolitos Eletrônicos – diretamente acoplados a computadores para análise automática das medições realizadas
- Fotogrametria – com sistema computadorizado de análise fotogramétrica automática e
- Laser Ótico (Laser Trackers e Estações Totais) – onde as coordenadas dos pontos são obtidas diretamente através de distanciômetros a laser cujas informações também são transmitidas automaticamente para computadores para análise.

Teodolitos Eletrônicos – Teodolitos eletrônicos são teodolitos industriais que são diretamente conectados com um computador onde um software específico realiza as análises e cálculos necessários, on line, para a determinação das coordenadas dos pontos de interesse.

Os sistemas de medição com teodolitos eletrônicos são adaptações lógicas dos teodolitos utilizados em trabalhos topográficos e geodésicos.

Estes instrumentos realizam a medição de ângulos verticais e horizontais na metrologia industrial, operando em duplas. Quando as linhas de visadas de dois teodolitos se cruzam em um ponto sobre o objeto medido, o ponto é fixado no espaço. Os ângulos horizontais e vertical medidos pelos teodolitos em cada ponto do objeto, associado aos ângulos medidos dos pontos localizados nas extremidades de uma barra com comprimento calibrado, são convertidos em coordenadas tridimensionais através de algoritmos de triangulação.

Nos teodolitos eletrônicos os ângulos são de alta precisão, cerca de 0,5 segundos, com leitura digital, que permite a redução de erros humanos na leitura das escalas. Possuem sistemas de nivelamento ótico e eletrônico facilitando o seu posicionamento no sistema de medição. Os instrumentos mais sofisticados possuem o recurso de autocolimação que dá maior precisão no posicionamento relativo entre dois teodolitos.

O processo de medição utilizando os teodolitos eletrônicos exige a fixação de alvos calibrados nos pontos a serem medidos. Em diversas situações é necessária a iluminação dos alvos para que se tenha maior nitidez na sua visualização.

Na prática, as linhas de visada dos alvos não se cruzam exatamente sobre os pontos. O cruzamento das linhas ocorre ao redor do ponto real em planos diferentes. Para que haja uma maior precisão na definição das coordenadas dos pontos medidos, o software "ajusta" o resultado da medição a partir da modelagem de triângulos com um dos ângulos medidos, comparando o modelo com os demais ângulos medidos. Calcula o erro em relação aos ângulos reais refinando o modelo e os dados finais através do método dos mínimos quadrados.

Quando há a necessidade de uma maior precisão dos dados, é recomendada a materialização de pontos cuja medição e erros calculados servem como parâmetros para uma melhor avaliação estatística dos resultados apresentados.

A medição de pontos fora da visada dos teodolitos pode ser realizado com a criação pontos de controle que possam ser remenssurados quando os teodolitos forem reposicionados para que a sua nova localização seja calculada, em relação ao referencial básico do sistema de medição.

Fotogrametria – Uma ou duas câmeras fotográficas especiais são posicionadas com os seus eixos inclinados, com um ângulo pré-determinado em relação ao eixo normal à superfície a ser mensurada, onde são fixados alvos reflexivos nos pontos a serem medidos. Esses alvos devem ser facilmente identificados nas fotos.

As coordenadas dos vários pontos medidos são calculadas através de uma rede de triangulação matemática complexa.

Os equipamentos básicos na fotogrametria consistem de uma ou duas máquinas fotográficas especiais, unidades reflexivas, compilador analítico e um computador com software específico para análise das imagens.

Na fotogrametria é necessário determinar a posição da câmera para uma maior precisão na definição das coordenadas. Softwares sofisticados, com esquemas de triangulação em relação a pontos de controle, com coordenadas bem definidas em relação ao objeto a ser medido permitem a localização da câmera a partir da análise das fotos. O posicionamento das câmeras deve ser cuidadosamente planejado, com a possibilidade de utilização de modelos, para eliminar o desperdício de tempo ou retrabalho devido à falta de cobertura dos pontos a serem medidos.

O ambiente nos locais de medição e linhas de visão dos pontos a serem medidos deve ser considerado. Também é necessário a medição da distância entre pares de pontos sobre, ou próximo do objeto a ser medido, cujos dados servem para se estabelecer uma escala de medição. A utilização de fotografias digitais na fotogrametria é um refinamento do processo de análise dos dados. O coração do sistema é o DCCS (*Digital Comparator Corelator System*), que realiza automaticamente a análise da automática da correlação de cerca de 80% dos pontos medidos. O sistema DCCS também executa o processo de refinamento dos dados através do método dos mínimos quadrados.

Laser Óticos – O Sistema com laser óticos integra a funcionalidade e a precisão dos teodolitos com a funcionalidade do laser. Quando o alvo é visado, fornece as informações dos ângulos horizontal e vertical do ponto em relação ao teodolito. O distanciômetro a laser funciona a partir da emissão de raios que são refletidos nos alvos que fazem parte do sistema.

A partir destas informações, os dados são convertidos em coordenadas cartesianas no software instalado no próprio aparelho. Como a origem das coordenadas cartesianas dos pontos mensurados é o centro do instrumento ótico,

não há a necessidade de realizar medições em barras com dimensões calibradas ou a criação de pontos de controles.

Os alvos reflectivos normalmente são constituídos de esferas fabricadas com grande precisão em cujos centros são instalados espelhos colimados que refletem a partir do centro da esfera o laser emitido pelo aparelho.

Com laser ópticos do tipo das estações totais são também utilizados alvos reflectivos que podem ser fixados nos pontos de medição. A precisão da informação destes alvos, porém, dependem do ângulo de visão da luneta.

As informações das coordenadas medidas são então transferidas para o sistema de medição computadorizado que permite então que sejam feitas análises das informações logo após a medição ou "on line". A avaliação do resultado "on line" permite que esse sistema seja usado para a verificação do alinhamento de duas estruturas em movimento durante um processo de alinhamento.

A precisão das medições realizadas pelo aparelho é influenciada pelas condições ambientais, devido a utilização do distanciômetro a laser. Estes aparelhos têm evoluído nos últimos anos, sendo desenvolvidos também dispositivos conhecidos como "Probes" que permitem a medição de pontos com difícil acesso.

A precisão na utilização dos sistemas mencionados acima também é extremamente apurada com a utilização de softwares minimizam os erros dos instrumentos através de cálculos estatísticos a partir da mensuração de uma quantidade de pontos além do necessário. Normalmente esses pontos são medidos antes da medição dos pontos de interesse, permitindo que a precisão seja maior durante a realização das medições desejadas.

Os softwares também permitem a criação de sistemas de medição que são bastante úteis quando os pontos de interesse do objeto a ser medido são em grande quantidade e dispersos no objeto mensurado de diversas maneiras. Existem também, softwares que permitem a utilização de diversos tipos de aparelhos no mesmo sistema de medição, permitindo uma maior flexibilidade nos sistemas de medição. A figura 5.1 mostra uma tabela de comparação entre os instrumentos mais conhecidos na metrologia de grandes dimensões.

	COST ¹ (\$1,000)	ACCURACY ² (stated)	MANNING ³ (persons)	SET-UP (hours)	RESULTS ⁴ (days)
PHOTOGRAMMETRY					
CONVERGENT	100 - 300	1 : 50,000	2 - 6	4	0.5 - 3
STEREO	100 - 300	1 : 20,000	2 - 6	4	0.5 - 3
DIGITAL IMAGE	130 - 200	0.08 mm	2	4	0.2 - 1.5
AUTO ANALYSIS	225 - 275	1 : 200,000	1 - 2	4	0.2 - 1.5
THEODOLITES					
STANDARD MANUAL	5 - 50	0.025 mm	2 - 3	4	1 - 2
COMPUTERLINKED	40 - 100	0.025 mm	2	4	0.5
MOTORIZED, LASER GUIDED	350	0.025 mm	3	8	INSTANT
DIGITIZERS					
SONIC	10-25	0.10 mm	1	0.5	INSTANT
INFRARED	60	0.5 mm	1 - 2	0.1	0.5
LASERS					
THEODOLITES - LASER RANGE	190	1mm	1	4	INSTANT
SCANNERS	150	@ 1 mm	1	4	INSTANT
COORDINATE MEASURE MACHINE	5-300	.025 - .0025mm	1	4	INSTANT - 1

1 A rough approximation of initial system cost. Costs vary significantly because of configurations available in the various instruments. A range of costs indicates a range for the cost of a typical, basic system to one with standard additional features.

2 Accuracy is stated in two different ways. An accuracy written as 1:50,000 is typical for a non contact type of measurement device such as photogrammetry, where the camera can be set at various distances from the object. For example, if the field of view is 20 feet across, a 1:50,000 accuracy will be 20/50,000, .0004 feet or .005 inches. The other method of accuracy description is a dimension directly on the object, such as .01 inch. An accuracy of 1/32 inch was considered acceptable for a shipbuilding measurement device.

3 Manning requirements are included as a range. Most all the systems could conceivably be operated by a single skilled person. The most efficient number of operators and assistants could range from 2 to 6, depending on the system and the turn-around time desired.

4 Time required to obtain results is a range dependent on the difficulty of the job and the number of points to be measured.

Tabela 6 - Comparação entre os sistemas ECDS (NAVAL SURFACE WARFARE CENTER, 1990)

Os sistemas de metrologia de grandes dimensões podem ser utilizados em várias etapas na fabricação de estruturas navais. O tipo de sistema e aparelho a ser utilizado dependendo da quantidade de pontos de interesse para medição, precisão dos dados medidos, necessidade de marcação de referências ou tempo de resposta do resultado da medição.

A tabela abaixo compara a utilização dos instrumentos apresentados em relação às etapas de fabricação de elementos estruturais utilizados na construção naval.

Legend
 1—Good Efficiency
 2—Fair Efficiency
 3—Poor Efficiency
 N/A—use manual method

		Processes	Measurement Techniques			
			Digital Theo-dolites	Photogrammetry	Optical Laser	
Stage of Construction	Fabrication	Cutting Tees	Length, Prep. of Cut, Degree of Bevel, Degree of Cut	N/A	N/A	N/A
		Stripping Plates	Width	N/A	N/A	N/A
		N/C Cut Plates	Length, Width, Diagonal	3	1	2
		Stripping I to Tees	Width of Stripped Flange	N/A	N/A	N/A
		Bending Tees	Chord, LOA, Sightline	3	1	2
		Bending Tees (Compound)	Chord, LOA, Sightline	3	1	2
		Bending Plates	Chord, Radius	N/A	N/A	N/A
		Twelving Tees	Angle from Vertical	3	1	2
		Riveting Plates	Length, Width, Curvature, Sight Line	3	1	2
	Sub-Assembly	Paneling Plates	Length, Width, Diagonal	3	1	2
		Paneling Web Frames	Length, Width, Diagonal	3	1	2
		Fitting Out Web Frames	Length, Width, Diagonal	3	1	2
		Fitting Longs to Plate Edge	Relationship of Longs to Plate Edge	3	2	1
		Web Frames on Sub-Assembly	Declivity of Webs	3	2	1
		Web Frames to Plate Edge	Relationship of Webs to Plate Edge, Declivity of Webs	3	2	1
		Final Sub-Assembly Check	Length, Width, Diagonal	3	1	2
	Assembly	Sub-Assembly Joined to a Sub-Assembly	Length, Width, Diagonal	3	2	1
		Setting Pins on Assembly Table	Heights	3	1	2
		Positioning Panels on Pins or Jigs	Position of Corners	3	2	1
		Paneling Curved Shell Grand Panel	Lengths, Chord, Diagonal	3	2	1
		Final Block Assembly Check	Length, Width, Diagonal, Key Hard Pts, Reference Lines	3	1	2
	Erection	Pre-Erection:				
		Layout Ways/Graving Deck w/Buttock and Frame Reference Grid	Lengths, Widths	2	3	1
		Check Offset Dimensions of Key Hard Points on Transverse and Longitudinal Erection Butts of Block to be Erected and Its Mating Block(s)	Deck & Bhd Longs, Girders, Sight Edges, Shell Stringers, Web Frames, Reference Lines	3	1	2
		Check Squariness of Frames to Reference Buttock Line of the Block to be Erected	Perpendicularity of Frames to the Buttock Reference Line	3	2	1
		Erection:				
		Set Block and Check Position of Reference Lines on the Block to Reference Lines on Ways	Offsets of the Block Reference Lines to Ways Reference Lines	2	3	1
Check Positions of Key Hard Points on Transverse and Longitudinal Erection Butts of Erected Block and Next Mating Block(s)		Deck & Bhd Longs, Girders, Sight Edges, Shell Stringers, Web Frames, Reference Lines	3	1	2	
Check Frame Spacing Between Blocks, Half Breadths and Heights to Maintain Overall Tolerances		Length Between Reference Frames, Half Breadths and Heights Above Baseline	2	3	1	
Check Height of Keel Blocks to Maintain Baseline	Height of Keel Blocks	3	2	1		

Tabela 7 - Comparação entre a eficiência dos sistemas na fabricação estrutural (NAVAL SURFACE WARFARE CENTER, 1990)

7 DESCRIÇÃO DE CASOS COM A UTILIZAÇÃO DE FERRAMENTAS DE METROLOGIA DE GRANDES DIMENSÕES

Existem exemplos na utilização destas ferramentas na indústria naval, divulgados pelos fornecedores dos equipamentos.

Não obstante a tabela anterior, os teodolitos eletrônicos são utilizados onde existe uma maior necessidade de precisão. Podemos citar como exemplos de utilização destes instrumentos a marcação de centros de usinagem para a instalação de tubos de torpedo, na construção de submarinos, marcação de referências no casco de navios para instalação de tubos e bases que se estendem na região de união de blocos ou unidades, marcação de referências e medições auxiliares na fabricação e montagem de tubulações e equipamentos em áreas com grande densidade de sistemas, etc...

Entre outros, podemos citar dois casos de utilização deste tipo de ferramenta:

- a) Chantiers de l'Atlantique – Estaleiro francês especializado na construção de navios de cruzeiro. Localizado em Sait Lazare, próximo do estuário do rio Loire.

Utilizam sistemas de metrologia de grandes dimensões desde 1995.

Em 1999 contavam com três estações totais operando com o software DCA (*Dimensional Control and Analysis*) que era composto de três módulos; DCP10 – responsável pela medição das unidades e blocos nas oficinas, DCP20 – responsável pela geração dos relatórios da medição realizada e comparação entre o “as-built” e o projeto e o DCP30 – responsável pela simulação da união de unidades e blocos indicando parâmetros para a produção que minimizem ao máximo a necessidade de sobre material.

O sistema era utilizado por dois departamentos: Action Précision – responsável pelas medições de alta precisão e Montage Bord – responsável pela qualidade no final das montagens.

Utilizavam o sistema nas seguintes atividades:

- Posicionamento de máquinas de oxicorte e verificação dimensional de conveses;

- Auxílio na instalação da linha de eixo, lemes e estabilizadores;
- Medição das linhas principais do navio;
- Marcação para corte do excesso de material do bulbo de proa;
- Verificação dimensional da estrutura de fundo;
- Verificação dimensional de blocos e unidades antes da montagem;
- Avaliação do “engripamento” de chapas;
- Medição e marcação de “topos” para corte;
- Alinhamento e controle na instalação de novos equipamentos.

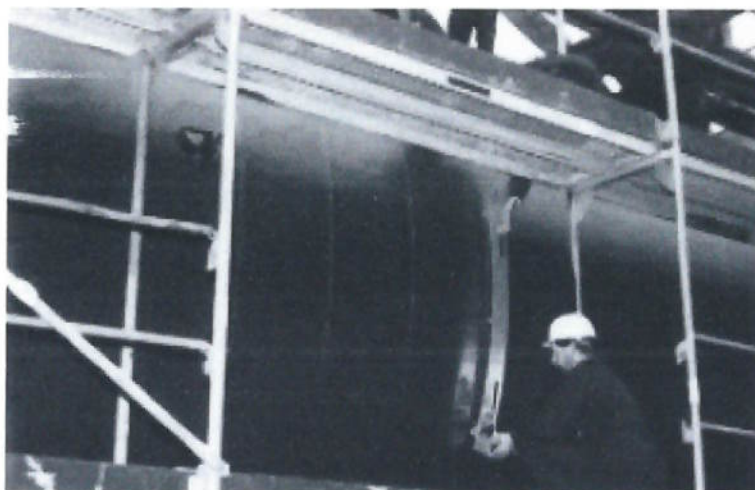


Application of the Leica TDM5005 with DCA10 SW on handheld PC

**Figura 13 - Medição de uma unidade estrutural com uma estação total e PC portátil
(SCHREIBER, 1999)**

Thyssen Nordseewerke_Emden – Localizado em Emden, na costa do mar do norte, na Alemanha, entre outras especialidades está a construção de submarinos.

Antes de utilizar um sistema de metrologia de grandes dimensões, utilizava um gabarito conhecido como “régua de 3 pontos” para a verificação da circularidade dos cascos dos submarinos. Utilizando uma estação total acoplado ao sistema Axyz, a medição da circularidade é feita com maior rapidez e precisão.



Picture 5: Conventional, staff intensive method for roundness checks using a gauge (1D measurement)

Figura 14 - Medição da Circularidade com “Régua dos 3 Pontos” (ILLEMANN, 2001)



Picture 6: Single operator 3D-roundness check using a total station (3D measurement)

Figura 15 - Medição da Circularidade utilizando a estação total (ILLEMANN, 2001)

CONCLUSÃO

A fabricação estrutural de um navio é uma sequência de atividades que envolvem várias tecnologias. Estas atividades são dependentes uma das outras de tal maneira que as características do produto realizado em uma etapa influenciam a atividade seguinte. Se o corte de uma chapa que compõe um painel não estiver nas medidas adequadas para que este painel seja instalado em uma unidade, certamente será necessário realizar algum trabalho de ajuste. Se as medidas da diagonal de uma antepara transversal e as distancias entre os seus reforçadores, não estiverem dentro de tolerâncias que permitam a sua soldagem com o costado e a soldagem dos elementos de ligação dos reforçadores com as longitudinais do fundo, muito trabalho e tempo deverão ser despedidos para executar os ajustes. Da mesma forma, garantir a precisão dos processos de produção durante a fabricação estrutural de uma embarcação necessita planejamento, trabalho e dinheiro.

Independente do cenário em que se considere a questão da implementação de um sistema de planejamento e controle de tolerâncias utilizando controle estatístico dos processos de produção, é certo a sua forte influencia na produtividade da indústria naval. Esta influencia se torna mais forte quando o sistema de construção adotado é por bloco ou unitizado (por unidades), sendo mais ainda mais crítico se for com acabamento avançado. Afinal, se forem somados os esforços e tempo necessário aos ajustes em cada fase da fabricação das unidades ou blocos, o total do custo em tempo e recursos certamente será bastante significativo.

O planejamento e controle das tolerâncias nos processos de construção naval são estratégicos para o aumento da produtividade do estaleiro. A utilização dos instrumentos de metrologia de grandes dimensões no monitoramento da fabricação dos blocos e unidades está fortemente inserida dentro desta estratégia.

Os estaleiros japoneses e coreanos certamente dão grande importância ao sistema de planejamento e controle de tolerâncias e aos sistemas de metrologia de grandes dimensões. Dentre outras medidas, o controle de tolerância na fabricação das unidades e blocos é um dos grandes responsáveis pelo reduzido tempo de utilização dos diques secos na fase de edificação. Atualmente, os coreanos levam cerca de 25 dias, a partir do embarque do primeiro bloco (na realidade um dos cinco

“super blocos”), de utilização do dique até o lançamento de um navio tipo Aframax de 100.000 ton. Da mesma forma, a construção de transatlânticos de cruzeiro, cujas partes são muitas vezes produzidas em sites diferentes, prescinde de um sistema de planejamento e controle de tolerâncias, com a utilização das ferramentas ECDS, para garantir a estratégia produtiva.

REFERÊNCIAS

FRANZ, K.D. *U.S. Ship building accuracy phase*. U.S Department of Transportation, 1986.

HAMMON, C.; et al. *Ship production*. 2nd ed. New Jersey: The Society of Naval Architects and Marine Engineers, 1995.

HORSMON; LUPICA. *Advanced Industrial Measurement Systems for Productive Shipbuilding*. New Jersey: The Society of Naval Architects and Marine Engineers, 1990.

ILLEMAN, J. *Practice report: Dimensional Control and Analysis at Thyssen Nordseewerke*. Unterentfelden: Leica Geosystems, 2001.

LAMB, T. Appendix C.In: *The Royal Navy's New-Generation Type 45 Destroyer*. Arlington: RAND, 2001.

NAVAL SURFACE WARFARE CENTER. The National Shipbuilding Research Program,: *Advanced Industrial Measurement Systems for Productive Shipbuilding*. In: *1990 Ship Production Symposium*. Paper No. 3A-1. US Department of the Navy. Aug, 1990.

PINTO, M.M.O; et al. *Contribuições à eficiência produtiva de navios no Brasil através do planejamento, programação e controle da produção*. 2007. Disponível em: <http://www.gestaonaval.org.br/arquivos/documentos/Ind%20Naval%20-%20Gest%C3%A3o/Contribui%C3%A7%C3%B5es%20%C3%A0%20efici%C3%Aancia%20produtiva%20de%20navios%20no%20brasil%20atrav%C3%A9s%20do%20planejamento,%20programa%C3%A7%C3%A3o%20e%20controle.pdf>. Último acesso: set 2011.

PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE. *Um Guia do Conjunto de Conhecimentos em Gerenciamento de Projetos*. 3^a ed. Newtown Square, Pennsylvania: Project Management Institute, Inc., 2004.

SCHREIBER, E. *Application report: Chantiers de l'Atlantique Shipyard*. Leyca Geosystems, 1999.

TAKECHI, S. et al. Studies on the block positioning metrics system for the hull erection stage. In: *Journal of Marine Science and Technology*. Vol., N. 3, p. 158-167. Dec. 2001.

TRANSPETRO. *Planejamento, programação e controle da produção e estoques na construção naval*. (Elaborado no projeto Implantação e consolidação de laboratório de gestão de operações e da cadeia de suprimentos da indústria de construção naval do POTRAN). Abril de 2007.