



# Lean Thinking e Six Sigma Aplicados À Indústria de Construção Naval

Fillipe Andrade

Trabalho de Conclusão de Graduação  
apresentado ao Curso de Engenharia Naval  
do Centro de Tecnologia e Geociências da  
Universidade Federal de Pernambuco, como  
parte dos requisitos necessários à obtenção  
do título de Engenheiro Naval.

Orientador: Silvio Eduardo Gomes de Melo

Recife

Julho 2015

**Universidade Federal de Pernambuco**

Centro de Tecnologias e Geociências - Departamento de Engenharia Mecânica

DEMEC - CTG - UFPE

Lean Thinking e Six Sigma aplicados à indústria de construção naval

Fillipe Andrade

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao corpo docente do Departamento de Engenharia Mecânica do Centro de Tecnologias e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheiro Naval.

Aprovado por:

---

Prof. Silvio Eduardo Gomes de Melo, DsC.  
(Orientador)

---

Prof. Cristiano Alexandre Virgínio Cavalcante, DsC

---

Prof. Marco Antônio Ladislau Petkovic, MsC

Recife, Pernambuco – Brasil

Julho de 2015

De Andrade Silva, Fillipe Vitor.

Lean Thinking e Six Sigma aplicados à indústria de construção naval / Fillipe Andrade. Recife: UFPE/Centro de Tecnologias e Geociências/ DEMEC, 2015.

(IX), (84).: il.; 29,7 cm.

Orientador: Silvio Eduardo Gomes de Melo

Trabalho de Conclusão de Curso – UFPE/ CTG/ Engenharia Naval, 2015.

Referências Bibliográficas: p. 83-84.

“Torna-te quem tu és” (Friedrich Nietzsche)

iii

## **Agradecimentos**

Primeiramente agradeço a minha família, em particular a meus pais pelo apoio incondicional, pela dedicação, amor e carinho que tanto contribuíram para minha formação pessoal e profissional, sem os quais não teria conseguido concluir mais esta etapa de minha vida.

Agradeço também a minha irmã, Aline Andrade, pelo carinho, pela força e, acima de tudo, por sempre ter sido um modelo de dignidade, caráter e fonte de inspiração. Sem o suporte dela metade dos meus anseios permaneceriam como sonhos e sem o incentivo dela, os horizontes que eu sempre almejei seriam realidades distantes.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Silvio Eduardo Gomes de Melo, pela confiança depositada em mim, pelo suporte e amizade adquirida no convívio ao longo dos últimos anos.

Agradeço aos meus companheiros de turma: Áureo Ramos, Eduardo Augusto, Flávio Souza, Gustavo Pereira, Ícaro Fonseca, João Rafael, Tiago Salvador e Vítor Lucindo, por compartilharem comigo suas dúvidas e descobertas, e por sempre fazerem com que eu tenha orgulho de fazer parte da primeira turma de Engenharia Naval da UFPE. Agradeço também aos amigos do início da caminhada acadêmica que, apesar da distância por motivos de escolha de engenharia, permaneceram sempre presentes em minha vida.

Agradeço aos amigos feitos no intercâmbio no Reino Unido, que aprimoraram meu entendimento da Engenharia Naval e compartilharam comigo anseios de uma nação melhor e mais justa socialmente, onde estudantes de Universidades públicas percebem que tem um dever para com seu país. Agradeço em especial a Letícia Ribeiro, Amarildo Pereira e Rodrigo Cunha, por simbolizarem tão bem que na plenitude da felicidade cada dia é uma vida inteira.

Agradeço aos professores do curso de Engenharia Naval que ensinam por vocação e prazer, e que contribuem não só para a formação do profissional como também para a formação do indivíduo. Agradeço em particular a Professora Paula Michima, por seu exemplo como cidadã que zela pelo patrimônio público, por seu

exemplo como profissional dedicada e, acima de tudo, pela sua crença nos sonhos de seus alunos, numa guinada futura de excelência da Engenharia Naval no país. Agradeço ao Prof. Armando Hideki Shinohara por todo o suporte junto à Petrobras e à Universidade Nacional de Yokohama.

Agradeço também aos gestores do Estaleiro Promar, do Grupo VARD, pelo fornecimento dos dados necessários para o desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço em especial ao apoio financeiro da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), da Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) e do Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), por meio do Programa de Recursos Humanos da ANP para o Setor Petróleo e Gás (PRH-ANP/MCT), bem como da Petrobras, este último do qual fiz parte com muito orgulho.

Agradeço por fim a Universidade Federal de Pernambuco, que me proporcionou durante os últimos cinco anos o mais intenso e vasto ciclo de aprendizado da minha vida. Agradeço ao ambiente acadêmico por ter me tornado um novo homem, um cidadão mais consciente do meu papel social, menos ignorante e cheio de certezas, e por ter me mostrado que não pode haver barreiras para a liberdade de questionamento.

Resumo do Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro de Tecnologias e Geociências/ UFPE como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheiro Naval.

Lean Thinking e Six Sigma aplicados à indústria de construção naval

Fillipe Andrade

A construção naval conta com diversas ferramentas para acompanhamento das atividades produtivas por parte da área de planejamento, entretanto poucas obtiveram tanto sucesso em situações próximas a realidade brasileira como o Lean Six Sigma. Baseado em estudos recentes desenvolvidos em estaleiros americanos será apresentado nesse estudo um modelo experimental de acompanhamento, através da metodologia LSS, de processos de construção de blocos de proa e popa de uma embarcação do tipo PLSV. Será ainda apresentado um estudo de caso realizado na área de tubulações que servem as regiões acima indicadas, no qual buscou-se realizar uma análise de melhoria proposta sob a luz da abordagem estatística do Six Sigma e da minimização de custos e desperdícios do Lean Thinking.

Palavras chave: Lean Thinking, Six Sigma, Outfitting, Desempenho, Construção naval, Planejamento e controle.

Orientador: Silvio Eduardo Gomes de Melo

Curso: Engenharia Naval

Abstract of Undergraduate Conclusion Thesis presented at the Centre of Technologies and Geosciences/ UFPE as partial fulfilment of the requirements for the degree of Naval Engineer.

## Lean Thinking and Six Sigma applied in shipbuilding

Fillipe Andrade

The shipbuilding industry counts with several tools that allows the Planning Sector to understand the Production flow, however few had fit with success in industrial realities likewise the Brazilians such as Lean Six Sigma did. Based on recent papers conducted in American Shipyards, here will be presented and discussed an experimental model that improves, using the LSS methodology, the construction and the management of processes for stern and aft blocks and sub-blocks of a PLSV. At the end of this thesis will also be shown a case related with the piping area, located in the regions mentioned above, aiming analyse by using the statistical approach of Six Sigma and the cost/waste minimization of Lean Thinking an improvement proposed in the industrial site, which will be introduced further.

Key words: Lean Thinking, Six Sigma, Outfitting, Performance, Shipbuilding, Planning and Control.

Supervisor: Silvio Eduardo Gomes de Melo

Course: Naval Engineering



## Índice

### Sumário

1. Introdução.....	1
2. Histórico da construção naval.....	3
2.1. Panorama geral da evolução da indústria de construção naval mercante.....	3
2.2. Evolução da construção naval no Brasil: do Plano de Metas ao Ciclo Promef .....	10
2.3. Construção naval nos Estados Unidos: do pós-guerra ao esgotamento do modelo Jones Act	14
3. Particularidades da construção naval .....	20
3.1. Heterogeneidades presentes na indústria de construção naval.....	20
3.2. <i>Outfitting</i> avançado: dos conceitos fundamentais a seu protagonismo como a face	
vantajosa de um planejamento forte.....	23
3.3. Implementação do <i>Outfitting</i> avançado: como conciliar o ideal de produtividade à	
realidade do estaleiro .....	26
4. Análise de ferramentas de controle e planejamento produtivo .....	29
4.1. Lean Thinking .....	29
4.2. Six Sigma.....	35
4.3. Lean Six Sigma .....	38
5. Horizontes de aplicação do Lean Six Sigma na indústria de construção naval ..	42
6. Aplicação do Lean Six Sigma no planejamento de construção de blocos de proa	
e popa de um PLSV .....	51
7. Considerações sobre o estudo de caso.....	67
8. Considerações finais.....	68
9. Referências.....	70

## Índice de Figuras

Figura 1 - Liberty Ship Arthur M Huddell (Fonte: ABS Press Release).....	5
Figura 2 - Suspensão de um megabloco no Estaleiro Zaliv (Fonte: Offshor Energy Today).....	8
Figura 3 - Exemplo de Zona de Outfitting, neste caso uma Praça de Máquinas (Fonte: Marine Insight). .....	26
Figura 4 - Caracterização de uma atividade produtiva (Fonte: Lean Production Simplified, Dennis (2007))......	31
Figura 5 - Exemplo de curva normal (Fonte: NY State Education Department). ....	35
Figura 6 - Esquematização do fluxo de informação completo quando se usa o Design for Six Sigma (Fonte: Inozu et al (2006))......	44
Figura 7 - Estrutura presente no Lean Project Planning (Fonte: Emblemsvåg (2008). ....	49
Figura 8 - Navio PLSV - Skandi Vitória (Fonte: Marine Traffic).....	52
Figura 9 - Representação gráfica de uma junção de tubulações por acoplamento (Fonte: Victaulic) .	59
Figura 10 - Representação gráfica de uma junção convencional de tubulações (Fonte: Grabcad).....	60

## Índice de tabelas

Tabela 1 - Particularidades do Lean Thinking (Fonte: Inozu <i>et al</i> (2006)).	40
Tabela 2 - Particularidades do Six Sigma (Fonte: Inozu <i>et al</i> (2006)).	40
Tabela 3 - Particularidades do Design for Six Sigma (Fonte: Inozu <i>et al</i> (2006)).	46
Tabela 4 - Particularidades correspondentes ao projeto de PLSV analisado	51
Tabela 5 - Estudo de custos para junção convencional de tubulações com DN 50mm (2") e que fazem uso de flange aço tipo penetração.	62
Tabela 6 - Estudo de custos para junção convencional de tubulações com DN 50mm (2") e que fazem uso de flange aço com ressalto PN16.	62
Tabela 7 - Estudo de custos para junção de tubulações com DN 50mm (2") fazendo uso de acoplamento externo.	63
Tabela 8 - Estudo de custos para junção convencional de tubulações galvanizadas com DN 50mm (2") que fazem uso de flange aço tipo penetração.	63
Tabela 9 - Estudo de custos para junção convencional de tubulações galvanizadas com DN 50mm (2") que fazem uso de flange aço com ressalto PN16.	63
Tabela 10 - Estudo de custos para junção de tubulações galvanizadas com DN 50mm (2") fazendo uso de acoplamento externo.	64
Tabela 11- Estudo de custos para junção convencional de tubulações com DN 125mm (5") que fazem uso de flange aço tipo penetração.	64
Tabela 12 - Estudo de custos para junção convencional de tubulações com DN 125mm (5") que fazem uso de flange aço com ressalto PN16.	64
Tabela 13 - Estudo de custos para junção de tubulação com DN 125mm (5") fazendo uso de acoplamento externo.	65
Tabela 14 - Estudo de custos para junção convencional de tubulações galvanizadas com DN 125mm (5") que fazem uso de flange aço tipo penetração.	65
Tabela 15 - Estudo de custos para junção convencional de tubulações galvanizadas com DN 125mm (5") que fazem uso de flange aço com ressalto PN16.	65
Tabela 16 - Estudo de custos para junção de tubulação galvanizada com DN 125mm (5") fazendo uso de acoplamento externo.	66



# 1. Introdução

Sabendo que as aplicações do Lean e do Six Sigma dão ao setor de planejamento uma boa base de dados em seu processo de tomadas de decisão, serão definidos alguns parâmetros de controle para que o foco no fluxo de informações seja mais eficaz. Para o caso dos blocos analisados, a análise irá do projeto ao processo final de construção com a definição integral do fluxo de informações. A partir da definição do fluxo serão identificados pontos que podem ocasionar gargalos, seja por operação de alto grau de dificuldade ou por simplesmente ter alta taxa de insucesso na conclusão do processo por informação ineficaz, sendo criados indicadores que permitam analisar tais situações.

Nos processos de construção de blocos em estaleiros de construção naval, os blocos de proa e popa, são os que apresentam uma exigência de conformação e controle dimensional bastante restrito, devido às dificuldades de fabricação destas geometrias complexas. No caso do PLSV, Pipe Lay Support Vessel, os blocos e sub-blocos de proa e popa possuem alto valor agregado, além dos fatores citados anteriormente, com equipamentos e propulsores azimutais, podendo inclusive ser reversíveis, que requerem do sequenciamento produtivo alto controle de atividades.

Percebe-se analisando o sucesso dos estaleiros asiáticos, em particular os coreanos e japoneses, é o alto planejamento e controle da produção existente nesses modelos. Técnicas de controle de custos e de produtos como ABC (Activity-based costing), Just in Time e MRP (Materials Requirements Planning) fizeram um grande diferencial na inserção competitiva desses estaleiros no mercado internacional. Da mesma forma, espera-se que ao desenvolver nos estaleiros nacionais ferramentas tais como as sugeridas às operações de construção naval poderão ter avanços expressivos.

O entendimento pleno de cada processo e como o mesmo pode ser aperfeiçoado, os recursos relacionados e o tempo necessário para vencer a inércia em indústrias com planejamentos das linhas de produção muito rígidos é um dos grandes desafios que a indústria naval enfrenta. É, contudo, possível realizar otimizações produtivas sem grandes mudanças no layout sendo este um dos principais parâmetros adotados neste trabalho.

No capítulo 02 do trabalho ora apresentado é feita uma abordagem da construção naval a partir da sua evolução histórica, assinalando os principais avanços nos processos de construção de embarcações e como cada um destes influenciou na melhora da produtividade dos estaleiros modernos. É feita ainda uma análise mais detalhada da atividade de construção naval no Brasil e nos Estados Unidos, a fim de comparar os erros históricos cometidos por ambos os países e como suas políticas protecionistas ainda hoje não surtaram os problemas que a indústria naval vive nessas nações.

No capítulo 03 é feita um exame das particularidades da indústria de construção naval, buscando entender como as atividades envolvidas nos estaleiros fazem dessa indústria um objeto de estudo tão singular.

O capítulo 04 adentra nas ferramentas de controle e planejamento produtivo, explana-se sobre o Lean Thinking, desde seu desenvolvimento aos principais ramos de utilização, e sobre o Six Sigma, focando na sua complementação ao Lean e como esses instrumentos de gerenciamento de produção podem integrar um sistema eficaz de melhoria de produtividade e aprimoramento de planejamento.

O capítulo 05 trata dos horizontes de aplicação das técnicas acima supracitadas, relatando experiências exitosas em estaleiros de lugares distintos do mundo, dando ao recurso ora ilustrado um forte embasamento teórico e factual.

No capítulo 06 é apresentado um modelo de sistema integrado de fluxo de informações, baseado primordialmente nos princípios do Lean Six Sigma, que garante operações enxutas e eficazes desde o projeto até o processo final de construção da embarcação ora indicada, um PLSV de 121,39 metros de comprimento total.

Por fim, no capítulo 07 são feitas as últimas considerações sobre os métodos escolhidos para a apreciação da banca, buscando identificar potencialidades e limitações aplicadas ao modelo de embarcação escolhido. Neste também é realizado um julgamento do nível de profundidade do sistema adotado e como este poderia garantir a uma empresa de construção naval genérica êxito no uso do LSS.

## **2. Histórico da construção naval**

### **2.1. Panorama geral da evolução da indústria de construção naval mercante**

O desenvolvimento da indústria de construção naval moderna contou com momentos de hegemonia de diferentes nações, mudando de continente por diversas vezes até encontrar na Ásia sua base mais longeva. O Reino Unido e os Estados Unidos ocuparam a posição de players dominantes nos anos de formação inicial da indústria naval moderna, principalmente durante o período de guerras no início do Século XX. Essa hegemonia no mercado de construção naval foi tomada no período pós-guerra pelo Japão, que teve a liderança de mercado tomada pela Coréia do Sul apenas no ano de 2003. De acordo com a Clarkson Research Service (2015), atualmente a Coréia do Sul corresponde a 41% das encomendas de embarcações feitas, seguida do Japão com participação de 28,9% e China de 24%.

O uso de aço para construção naval iniciou-se timidamente em 1812 na fabricação de barcos de recreio, com o primeiro navio de alcance marítimo, Aaron Manby, só sendo construído em 1822 (Fariburn, 1865). A construção do navio SS Great Britain, entre 1839 e 1843, é considerada como o marco do início da indústria de construção naval comercial moderna. Feito de aço, um material recém-introduzido na fabricação de navios, graças às técnicas de laminação de chapas de aço patenteadas por Henry Cort em 1784. Sem uma variedade de espessuras de chapas de aço disponíveis o uso desse material acabava por ser limitado, visto que a junção das chapas para formação do casco da embarcação era realizada através de rebites.

A indústria americana de construção naval começou a adotar aço com certo atraso se comparada à britânica devido a dois fatores: o custo do aço nos Estados Unidos era consideravelmente superior que no Reino Unido; havia um abundante mercado local de oferta de madeira. As primeiras embarcações de aço construídas nos Estados Unidos foram pequenos navios de transporte fluvial, tendo seus materiais sido importados da Inglaterra, as quais entraram em operação entre 1834 e 1838 (Fassett, 1948, p. 43).

A indústria de construção naval brasileira apresentava nessa época uma característica que seria sua marca até os dias de hoje: alta volatilidade de resultados. Durante o Século XIX a Fábrica da Ponta d'areia, gerenciada pelo Visconde de Mauá,

obteve bons resultados conseguindo inclusive uma média de 6 embarcações produzidas por ano (Alves Câmara, 1888). No fim do Século XIX fora construído no Arsenal da Corte o maior cruzador de aço da América do Sul, sendo esta embarcação de 4500 toneladas de deslocamento a maior até então produzida nacionalmente, pouco antes a crise que atingiu todos os setores de construção naval brasileira entre 1890 e 1937. Era de conhecimento geral que a Companhia Costeira Brasileira tinha interesse de dar sequência a um plano ambicioso de construção de embarcações ainda maiores que a acima citada, entretanto devido à política tarifária da época e da quase inexistência de siderurgia e outras indústrias de apoio era completamente inviável a construção de grandes navios no Brasil.

O uso de aço e madeira como materiais de construção naval permaneceu durante todo o Século XIX, até o ponto em que o aço passou a ser dominante na fabricação de embarcações nas indústrias mais modernas, já nas últimas décadas do mesmo século. O advento da utilização em larga escala do aço como material de construção naval veio após a invenção de Bessemer de processos de fabricação de aço, patenteados em 1855, responsáveis por produzir aço com ductilidade consistente e reduzir substancialmente os preços do material. Com isso a construção de embarcações de aço tornou-se cada vez mais comum nas décadas que se passaram, e em 1888 a Lloyds Register lançou suas primeiras regras para navios construídos com aço.

Fica evidente, a partir do histórico apresentado, que a indústria de construção naval moderna, no que tange aos materiais de fabricação de embarcações, foi estabelecida no fim do Século XIX. Ainda que a indústria de construção naval atual faça uso do aço como sua matéria-prima, as tecnologias de construção, os métodos, os produtos e a escala industrial são incomparáveis aos os parâmetros de um século atrás. Consequentemente, sob aspectos técnicos e econômicos, pode-se afirmar que a indústria naval contemporânea começou em algum momento no Século XX.

A construção naval como uma atividade em escala industrial passou por severas modificações durante o último século graças a inserção de novas tecnologias, de novos materiais e ferramentas de planejamento e melhoras de processos. O uso preferencial da soldagem ao invés do rebite para a junção de placas de aço criou uma oportunidade excelente para os estaleiros no início do Século XX, já que essa nova



tecnologia requeria uma mão-de-obra menos intensiva e com maiores possibilidades de automatização. A Lloyds Register introduziu regras experimentais para construção de navios utilizando técnicas de soldagem em 1918, e já em 1920 houve a construção experimental do primeiro navio usando apenas o método de soldagem, em Birkenhead - Inglaterra, chamado MV Fullagar.

Até a Segunda Guerra Mundial a soldagem ainda não havia se tornado processo padrão de união de chapas de aço na construção naval, nesse momento houve o advento dos Liberty Ships, símbolos do programa de construção naval americana de suporte aos Aliados. O Liberty Ship era um navio de carga geral padrão de 7210 toneladas, sua construção era baseada em procedimentos rápidos e baratos a fim de conseguir substituir rapidamente as baixas da guerra e do cerco alemão. Deve-se ressaltar também o fato de não haver o uso do rebite, fator que limitava substancialmente melhorias no tempo de construção naval, sendo utilizados apenas processos de soldagem para união do chapeamento do casco.



**Figura 1 - Liberty Ship Arthur M Huddell (Fonte: ABS Press Release)**

Contudo ao passo que houve a introdução da soldagem nos processos de construção naval outro fator também fora produzido, visto que a técnica de rebite não permitia severas modificações nos processos de construção naval. Com o advento desse novo procedimento de união de elementos, o uso de blocos pré-fabricados para uma montagem final criou um novo paradigma na indústria de construção naval global.

Com essa nova abordagem, a construção naval estendeu sua produtividade e a produção em massa tornou-se uma ideia plausível, visto que o uso de blocos pré-fabricado tornaria os processos de planejamento mais factíveis e fidedignos. Planos de aprimoramento de planejamento foram inicialmente desenvolvidos no Japão na década de 50, visto que as áreas de construção naval e transporte marítimo foram utilizadas pelo governo japonês como estratégias de recuperação de sua economia, reduzida a um décimo do que fora anteriormente, no período pós-guerra. O desenvolvimento da indústria naval do Japão após a Segunda Guerra Mundial poderia ser considerado como o berço da indústria naval comercial moderna. Pois sem dúvidas os estaleiros japoneses assimilaram diversos métodos de produção, fabricação em massa e pré-fabricação, originalmente desenvolvidos nos Estados Unidos durante a Segunda Guerra Mundial, aprimorando-os e desenvolvendo novas técnicas que possibilitaram o país a tornar-se líder do setor e exportador de tecnologia, inclusive para os Estados Unidos (Stott, 2014)

Sobre esse processo de assimilação japonesa de técnicas de produção de embarcações, previamente implantadas nos Estados Unidos, pode-se realizar uma evolução histórica com maior precisão de detalhes se forem analisados os papéis dos maiores responsáveis pelo “milagre de construção naval” americano no momento da Segunda Guerra Mundial. Sob a direção do Presidente Roosevelt, o programa dos Liberty Ships era idealizado pelo Almirante da Marinha Jerry Land, que recrutou a época o industrialista Henry Kaiser como gestor do programa. Kaiser com a contribuição do engenheiro industrial Elmer Hann construiu 16 novos estaleiros, recrutando e treinando uma substancial força de trabalho afinando-a com o conceito de manufatura eficiente. Os trabalhadores tornaram-se então capazes de, usando apenas como método de união de chapas a soldagem, construir uma embarcação do batimento de quilha a entrega final em semanas. (Bergeson, 1993)

Foi graças ao sucesso das experiências de construção naval em tempos de guerra de Kaiser e Hann, além do apoio financeiro de armadores como D. K. Ludwig e engenheiros industriais como Dr. Edward Deming, que uma expansão de eficiência na produção de embarcações se espalhou para a Europa nos anos 50 e para o Japão na década de 60. Entretanto, enquanto a maioria dos estaleiros europeus havia sido bombardeada, os Aliados tinham decidido estrategicamente não bombardear os

estaleiros japoneses, pois consideraram que os mesmos seriam necessários após o período de guerra. Em 1947 Dr. Deming, um renomado professor de estatística dos Estados Unidos, fora recrutado pelo governo americano para auxiliar a Sociedade de Engenheiros e Cientistas Japoneses durante o período de ocupação daquele país pelas forças armadas americanas.

No fim da década de 40 a indústria naval japonesa sofria com a baixa eficiência e qualidade, tendo seu desempenho bastante acanhado se comparado aos padrões dos países desenvolvidos da época. As diversas aulas ministradas pelo Dr Deming na área de Controle Estatístico de Métodos (SCM) conduziram os trabalhadores japoneses na criação de ciclos de qualidade reais. Eventualmente, como resultado desse trabalho, Dr. Deming foi conduzido a indústria naval juntamente à Hann e Dr. Hisashi Shinto da IHI, que viria a ser “o aprendiz que se tornou o feiticeiro” como apontou (Chirillo e Chirillo, 1985). Hardy e Tyrell reforçam o contexto histórico destrinchado anteriormente confirmando a vasta ajuda que o governo americano ofertou a Japão através de capital, engenheiros e planejamento de produção.

Essa evolução de eficácia na construção naval que se passava no Japão também viria a ser observada na Europa, em escala menos agressiva devido a diversos fatores como mercado ainda sensibilizado, problemas trabalhistas e iniciativas governamentais. Entretanto, é errado considerar que as evoluções nas técnicas de construção naval usando soldagem e construção em blocos era uma ocorrência isoladamente americana. O mesmo tipo de metodologia estava sendo aplicada pela Alemanha para a construção em particular dos seus submarinos, os clássicos U-Boats. A real significância do desenvolvimento dessas técnicas acabou por ser atrelada aos americanos devido ao seu sucesso de implementá-las e vendê-las para demais países, disseminando o procedimento como uma metodologia da indústria naval moderna.

A construção de navios usando a metodologia de blocos foi bastante estudada e desenvolvida no Japão na década de 50. Sob a influência americana, a construção naval, juntamente a atividades industriais ligadas ao aço, carvão mineral, geração elétrica e ferrovias foram selecionadas como áreas prioritárias para a reconstrução da economia nipônica. (Otsubo, 2007). Ao analisar o contexto histórico, percebe-se o êxito do governo japonês ao escolher estrategicamente a construção naval e o

transporte marítimo como setores prioritários, no que veio a ser conhecido como o período do “milagre econômico” japonês, no qual houve a recuperação da economia nipônica que havia sido reduzida a um décimo daquilo que fora antes da segunda guerra mundial. A eficiência dessa política já podia ser observada na metade da década de 60, quando o Japão já tinha se estabelecido como um exportador industrial majoritariamente.



**Figura 2 - Suspensão de um megabloco no Estaleiro Zaliv (Fonte: Offshor Energy Today).**

A indústria desenvolvida no Japão ao fim dessa década já poderia ser reconhecida como a indústria de construção naval comercial moderna, visto que a mesma já havia estabelecido métodos de construção que seriam utilizados posteriormente em países como Coreia e China, como também em toda a construção naval contemporânea. É evidente que o Japão aproveitou bastante das técnicas e metodologias importadas dos Estados Unidos no desenvolvimento de sua indústria de construção naval, porém não se deve limitar o êxito japonês apenas a estas.

Os próprios estaleiros japoneses acabaram por desenvolver e adaptar técnicas de planejamento e produção eficazes, importando muitas destas da indústria automobilística também em ascensão naquele país, revertendo a situação ocorrida anteriormente, fazendo do Japão um exportador para os Estados Unidos de técnicas

de aprimoramento produtivo. Entretanto a indústria naval ainda estava por sofrer outra grande modificação, que pontuaria de fato a importância de um planejamento de excelência aplicado à construção de embarcações.

Com o layout dos estaleiros se diferenciando por diversos fatores, seja falta de espaço ou fluxo de produção, havia uma demanda de uma construção build to suit, ou seja, o planejamento de construção devia levar em conta cada vez mais os fatores limitantes e objetivar uma construção naval em menor tempo e fazendo uso das instalações do estaleiro da maneira mais eficaz possível. A partir desse conceito um hábito tradicional da indústria naval passaria a sofrer uma severa modificação: o outfitting pelo qual as embarcações passavam se tornava cada vez mais paralelo ao processo de construção, visando diminuir drasticamente o tempo em que a embarcação passava atracada no dique de acabamento. A porcentagem de tempo em dique seco, flutuante ou na carreira de lançamento passaria a ser um fator diferenciador entre a construção naval eficaz e moderna e a tradicional e obsoleta.

A introdução desse ponto de vista da análise do problema a partir do gargalo, representado aqui pelo tempo de outfitting da embarcação, pediu da indústria naval uma nova postura quanto aos seus procedimentos. Aumentar a capacidade dos guindastes Goliath resultaria no acréscimo da capacidade de içar maiores blocos, e por consequência maximizaria a integração entre os trabalhos de construção e outfitting ainda nesta fase, evitando, portanto, que essas atividades fossem realizadas em regiões com condições não ideais e mais custosas, como é o caso do dique. Com isso, galpões que visam integrar os procedimentos, e são projetados com especificidade de dar suporte a esta estratégia construtiva, definem o que hoje é considerado o formato moderno de um estaleiro. (Bruce and Eyres, 2012, pág. 119 à 123)

As mais recentes modificações na indústria naval passam pela criação dos novos tipos de embarcações, trazendo consigo novas demandas e nichos de mercados, a crescente expansão do tamanho das embarcações, buscando não só maximizar a capacidade de carga, mas também diminuir os custos do frete, e a busca mais recente pelo que poderia ser chamada capacidade de produção em linha de embarcações. Esta última vem sendo implantada, ainda que com limitações, em estaleiros da Coréia do Sul, dando a estes um controle ainda maior no seu processo

produtivo, diminuindo riscos, aumentando receitas e ofertando ao mercado embarcações com projetos já pré-definidos e tempo de construção definido com alta acurácia.

## **2.2. Evolução da construção naval no Brasil: do Plano de Metas ao Ciclo Promef**

Conforme comentado anteriormente, no Brasil a construção naval sempre se mostrou presente desde o Império, com a Fábrica da Ponta d'Areia, ao início do Século XX, com a tentativa de Henrique Lage de construir embarcações no Estaleiro da Ilha do Viana. Foi, entretanto, a partir de 1956 que a construção naval visando produção em escala começou a surgir, graças à meta 11, presente no Plano de Metas do Governo Juscelino Kubitscheck. A 11ª meta definia a necessidade de renovação da Marinha Mercante, e em conjunto com a 28ª meta, a qual tratava da Implantação da construção naval no país, foram essenciais nos anos seguintes para uma estruturação da indústria de construção naval brasileira.

Foi então que em 24 de abril 1958, a partir da Lei nº 3381, criou-se o Fundo da Marinha Mercante e a Taxa de renovação da Marinha Mercante, além de indicar uma nova organização e atribuições ao Comando da Marinha Mercante. O FMM destinava-se a prover os recursos financeiros necessários para a renovação da Marinha Mercante, sendo constituído por uma porcentagem cobrada sobre os fretes marítimos e sobre a taxa de arrecadação aduaneira, sendo estes recursos depositados no BNDE (antigo BNDES), ficando à disposição do CMM. A princípio fora estimada uma demanda inicial de 150.000 a 200.000 TPB de navios novos a serem construídos.

Em junho de 1958, a partir do Decreto Federal nº 43.889, foi criado o Grupo Executivo da Indústria de Construção Naval (GEICON) com a função de complementar a estrutura legal e administrativa para implantação da indústria naval brasileira. Uma das atribuições do GEICON era receber, analisar e aprovar planos apresentados por terceiros para construção, ampliação ou modernização de estaleiros. Telles (2001) mostra que foi apresentado um total de 37 propostas, das quais 11 foram aprovadas, mas somente seis se materializaram, resultando nos seguintes empreendimentos, divididos em duas categorias:

- Empreendimentos de grande porte
  - Ampliação e modernização do Estaleiro Mauá, da Companhia Comércio e Navegação, na Ponta d'Areia – Niterói, Rio de Janeiro.
  - Construção do estaleiro Inhaúma, na Ponta do Caju – Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
  - Construção da Ishikawajima do Brasil Estaleiros SA (Ishibrás) – Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
  - Construção do Estaleiro Verolme – Angra dos Reis, Rio de Janeiro.
  
- Empreendimentos de porte médio
  - Ampliação e modernização do Estaleiro EMAQ, na Ilha do Governador – Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
  - Ampliação e modernização do Estaleiro CANECO, na Ponta do Caju – Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
  - Ampliação e modernização do Estaleiro Só SA – Porto Alegre, Rio Grande do Sul.

A construção, ampliação e modernização desses estaleiros significou um investimento inicial de US\$ 40 milhões e, a partir disso, seria possível construir até 160.000 TPB por ano, em navios com limitação superior de 25.000 TPB. Como pode se esperar, todos esses empreendimentos necessitavam de assistência técnica estrangeira, não só para a construção em si como também para a transferência de *know-how* de construção naval e para os projetos dos primeiros protótipos.

Apesar da construção naval de grande porte ser uma atividade em início no Brasil, para os primeiros projetos o índice de nacionalização (em valor) já atingiu na média 60%. Até a década de 60 houve o processo de implantação da indústria de construção naval no país, como também de sua cadeia de fornecimento, ainda que esta última de maneira parcial. Os primeiros navios entregues eram todos de carga geral, que seriam os que mais se adequavam as necessidades da Marinha Mercante brasileira naquela época.

Na década de 70, o “milagre econômico” brasileiro atingia seu auge e o Governo Federal lançou o Primeiro Plano de Construções Navais (I PCN), um plano plurianual que a princípio se estenderia até 1974 prevendo a encomenda de embarcações, totalizando 1,7 milhões de TPB e um investimento inicial da ordem de US\$ 1,2 bilhão. Com a certeza da demanda alta muitos estaleiros passaram a fazer planos de ampliação e modernização, introduzindo programas de computador para os cálculos de projeto e, mais tardiamente, para a execução dos desenhos.

Em 1974, continuando a euforia previamente comentada, lançou-se o Segundo Plano de Construções Navais (II PCN), que previa a encomenda de 5,3 milhões de TPB e um investimento da ordem de US\$3,3 bilhão. Para esse programa não se pouparam subsídios e empréstimos externos, sendo a meta ufanista da ditadura militar que a Marinha Mercante brasileira atingisse 10 milhões de TPB. O ponto mais alto da produção e de força de trabalho dos estaleiros foi atingido em 1979, contudo esse ano também marcou o início de uma grave crise que se tornou emblemática na indústria naval brasileira, a qual praticamente passou a inexistir por décadas.

A crise aconteceu por um somatório de causas, Teles (2001) lista alguns fatores que segundo os engenheiros da época podem ter causado essa falência tão significativa na indústria naval nacional:

- Custo elevado dos navios de construção nacional devido a fatores como: sofisticação excessiva de projetos em muitos casos; proibição da importação de matéria-prima, navipeças e outros componentes desde que houvesse um similar nacional (que quase sempre era mais caro e de baixa qualidade).
- Dificuldades financeiras da SUNAMAM decorrente de vários fatores como: inflação elevada, planos econômicos mal sucedidos, crise econômica mundial, restrição de crédito internacional, suspensão de financiamentos, dentre outros.
- Crise mundial do mercado de fretes devido aos choques do petróleo, quando o volume total de transporte marítimo caiu drasticamente deixando uma boa parcela das embarcações ociosas.
- Modificação completa dos navios mercantes a partir da década de 70, devido à introdução maciça do emprego dos contêineres, tornando obsoletos os navios de carga geral.



- Crise da navegação de cabotagem no Brasil, como decorrência dos altos custos e demora nos portos.
- Superdimensionamento do II PCN, bem como dos planos de ampliação de alguns estaleiros e da fabricação de navipeças.

Após o II PCN a encomenda de embarcações caiu substancialmente, fazendo com que a receita dos estaleiros sofresse um forte baque, em especial aqueles que haviam investido pesado em melhorias de sua infraestrutura e ampliado suas capacidades produtivas. Alguns estaleiros conseguiram sobreviver as décadas subsequentes de crise na indústria naval brasileira focando suas atividades em reparo, sucateamento de navios ou na construção de plataformas de exploração e produção de petróleo.

O Brasil havia sido o segundo maior produtor mundial de embarcações num cenário de alto protecionismo, pouco estímulo à produtividade e desenvolvimento tecnológico. A indústria de construção naval nacional permaneceu majoritariamente inativa e cheia de débitos por quase duas décadas, quando em 1998 há o primeiro movimento real de retomada da produção naval nacional, graças as encomendas da Petrobras para o aumento da produção de petróleo em alto-mar.

Em 2001, a Petrobras lançou seu Programa de Modernização da Frota de Apoio Marítimo, estabelecendo no edital de concorrência internacional a exigência de navios de bandeira brasileira, o que estimulou a construção local desses navios e reativou os estaleiros. Ficou decidido também que diversas empresas brasileiras participariam da construção de diversas plataformas de exploração oceânica de petróleo, fornecendo módulos para as plataformas que haviam sido convertidas em FPSO em estaleiros estrangeiros. A montagem desses módulos nas plataformas e a finalização das unidades de produção passaram a ser feitas no Brasil (SINAVAL, 2008).

No ano de 2003, o Governo Federal decidiu encomendar plataformas semisubmersíveis de grande porte com construção parcial ou total no Brasil, contribuindo assim para a reativação de diversos estaleiros. Essa nova demanda offshore traz o país mais uma vez para centro de atenção dos investidores internacionais. Comprovando essa fase, em 2006 a Transpetro selecionou – em

licitação pública, os estaleiros que construiriam os primeiros 26 novos petroleiros para a modernização de sua frota, o que garantiu a ocupação de vários estaleiros e a criação de novos empregos especializados. No fim do ano de 2008, a Transpetro lançou edital para a segunda fase do Programa de Modernização e Expansão da Frota (Promef II). (SINAVAL,2008).

As descobertas das jazidas do pré-sal abrem muitas oportunidades para os estaleiros e navieças no Brasil. Apesar da queda recente do preço do petróleo, os esforços governamentais no sentido de manter os investimentos previstos pela Petrobras indicam que a perspectiva de crescimento da demanda do setor naval continuará nos próximos anos. Ressalta-se também que a similaridade geológica com a costa da África pode abrir novas demandas para o setor naval brasileiro. A demanda proveniente da indústria de petróleo e gás é, portanto, a oportunidade da indústria naval brasileira tornar-se mais competitiva.

De acordo com os estudos antigos do PROMINP, num cenário de crescimento baixo da economia (em torno de 4%) o preço do barril do petróleo estabilizaria em US\$ 55 seria demandado a construção de 52 plataformas e 23 navios do tipo Suezmax no período 2012-2025. Contudo, recentemente observa-se um mercado de petróleo cada vez mais volátil, mergulhado numa crise que envolve uma inundação de petróleo no mercado devido às decisões da OPEP de inviabilizar novos mercados de fornecimento dessa commodity, em particular os produtores de petróleo a partir do xisto americano. Com isso a exploração do pré-sal está atualmente próxima de sua faixa de operabilidade, e essa proximidade demanda cuidado e bastante planejamento estratégico da indústria naval nacional para não repetir os mesmos erros ufanistas de outrora.

### **2.3. Construção naval nos Estados Unidos: do pós-guerra ao esgotamento do modelo Jones Act**

O. Gray (2008) desenvolveu uma análise da indústria de construção naval americana de 1945 até 2008, levando em consideração a situação do mercado tanto pela óptica dos armadores quanto pela dos estaleiros americanos. Em seus estudos pode-se observar que no período que seguiu o fim da Segunda Guerra mundial havia excesso de navios de carga gerais no mercado de transporte marítimo, derrubando

os preços destes para valores irrisórios. Com um mercado atrativo para aquisições, houve, por parte de grandes armadores internacionais como Onassis e Niarchos, uma verdadeira corrida do ouro para os Estados Unidos a fim de adquirir essas embarcações ociosas e adicioná-las a sua frota. Contudo, o governo americano só liberava as embarcações para compra caso estas permanecessem com a bandeira americana, ou se seus compradores diretos fossem cidadãos americanos.

Os investidores internacionais não tomaram a legislação a sério e, deliberadamente, passaram a trafegar com diversas embarcações construídas para o transporte de carga geral durante a guerra com suas bandeiras de origem. O Departamento de Justiça então aplicou severas multas sobre estes investidores, obrigando-os a construir parcelas substanciais de suas novas embarcações em estaleiros americanos pelos próximos dez anos. Essa obrigação acabou induzindo a construção em estaleiros americanos de navios tanque, em particular nos estaleiros Newport News e Bethlehem Steel.

Durante o início da década de 50 os estaleiros americanos estavam majoritariamente dependentes das encomendas referentes à navegação de cabotagem, cuja legislação (Jones Act) sempre garantiu um nicho de mercado para esse tipo de navio. Ao passo em que ocorria nos Estados Unidos o processo de jumbonização dos navios tanque construídos no período de guerra, a fim de utilizá-los para navegação de cabotagem, na Alemanha era lançado o primeiro super navio tanque e o Japão dava seus primeiros passos de consolidação como a indústria naval mais eficiente o mundo.

No fim da década de 60 e início da década de 70, com o fim dos principais conflitos que tomaram conta do início do período global bipolarizado, a maioria dos mercados estavam obtendo bons resultados e as taxas de fretamento atingindo novos recordes, ao passo que os estaleiros europeus e japoneses vivenciavam uma competição de alto nível pelo título de mais eficiente. Em solo americano, no entanto, os estaleiros existentes sofriam com ciclos de fechamento e reabertura. Tornou-se comum inclusive combinar atividades de reparo e construção naval, como também serviços esporádicos à Marinha Americana, a fim de manter aquela indústria ainda viva.

Próximo do fim da década de 70 e início da década de 80 ocorreram encomendas substanciais de navios tanque em estaleiros estabelecidos em solo americano. Graças ao Jones Act e a grande demanda de transporte de óleo da região produtora do Alaska para a Costa Oeste americana, fora fomentando um novo período relativamente bom para a indústria de construção naval mercante dos Estados Unidos. Contudo, logo esse momento áureo começou a ser confrontado com dois importantes fatos: Primeiro, os armadores americanos e estrangeiros eram unânimes nas contestações sob a qualidade das embarcações que eram construídas em solo americano; Segundo, na década de 80, a ascensão política do presidente Ronald Reagan e, por consequência, de sua política econômica liberal, indústrias deficitárias e que dependiam diretamente de incentivos governamentais para continuar em operação sofreram um forte golpe.

O maior exemplo da nova agenda econômica que estava sendo aplicada foi a suspensão do CDS e ODS, dois subsídios que vinham desde o período pós-guerra. Através do *Constructional Differential Subsidy* (CDS) e o do *Operating Differential Subsidy* (ODS) os armadores tinham as diferenças entre seus custos e aqueles praticados pelo livre mercado cobertos pelo governo americano. Com essa nova realidade, a construção de grandes navios mercantes em estaleiros americanos tornou-se praticamente irrisória. Essa política perdurou por uma década, sendo interrompida pelo presidente Clinton graças a uma forte pressão sindical, entretanto a legislação antiga era considerada atrasada e acabou sendo modificada. Conforme demonstrada anteriormente, a política industrial de subsídios era fortemente focada nos armadores deixando os estaleiros a margem desse artifício de atenuação de condições de mercado. Na administração Clinton foi lançada uma nova política de incentivos, focada tanto nos armadores quanto nos estaleiros, trazendo resultados positivos inicialmente só que devido a carência de competitividade dos estaleiros americanos e da cadeia de suprimento falhou mais uma vez na estruturação de indústria naval forte no país norte americano.

No fim da década de 90, a indústria de construção naval americana encontrava-se praticamente extinta, poucos eram os estaleiros que ainda encontravam-se construindo embarcações, ainda que sob o efeito da Jones Act, podendo ser citada a construção de barcaças como uma atividade que houvera sobrevivido após o declínio.

O uso de barcaças de lançamento de linhas de tubulação e de transporte de petróleo, desde o Golfo do México à Costa Leste americana, tornou-se comum como alternativa comercial preferível à construção de novos navios tanque.

#### **2.4. Saturação do modelo de construção naval baseada no subsídio: como traçar um paralelo entre o modelo americano e brasileiro**

Nas últimas páginas foram apresentados os momentos de pico e declínio de uma indústria tão volátil quanto o mercado financeiro, em países com cultura e tradições de políticas macroeconômicas que diferem bastante. Os resultados de uma construção naval baseada pura e simplesmente em subsídios governamentais nunca atingiram o objetivo final daqueles que planejaram e programaram as medidas de proteção do setor industrial local, tendo no máximo atingido grandes contingenciamentos de capital dos contribuintes em ambos os casos. Entretanto, tanto para os Estados Unidos quanto para o Brasil a indústria de construção naval sempre teve um caráter estratégico: ambos possuem costas extensas e fazem uso de navegação de cabotagem para dar vazão tanto a sua produção de bens interna quanto a distribuição dos bens importados.

No caso americano ainda há um fator importante relacionado a uma realidade quase paralela de estado de arte dos processos entre sua indústria de construção naval mercante e militar, visto que os estaleiros prestadores de serviços à marinha americana não só dominam a tecnologia produtiva quanto tem em seus processos uma boa eficiência. Ao observar os erros e os acertos das políticas de fomento a indústria naval no Brasil percebe-se que os estaleiros brasileiros enfrentam problemas extremamente semelhantes aos estaleiros americanos de construção naval mercante:

- Cadeia de fornecedores locais insuficiente, produzindo insumos com preços inexequíveis e longos períodos de entrega com pouco espaço, portanto, para aplicação do *just-in-time*;
- Carência de mão de obra local qualificada e com a desejável mentalidade de aprimoramento contínuo e *lean thinking*;
- Planejamento inepto, com pouca profundidade de detalhes e margens de erro altas, criando um ambiente no qual o retrabalho ao invés de representar exceção torna-se regra em uma grande parcela dos processos.

- Pequeno detalhamento do design no momento inicial da construção, criando um limite superior para a taxa de *outfitting* e incrementando substancialmente o tempo total de construção da embarcação.

Diversos especialistas já se debruçaram sobre esses problemas e quase sempre convergem para a mesma recomendação: investir no benchmarking com os melhores estaleiros, obter deles as melhores práticas, replicá-las e, caso não seja possível, adaptá-las a realidade local. A evolução da eficiência da construção naval sempre se baseou na capacidade de planejamentos fidedignos por parte do estaleiro, e essa capacidade sempre foi bastante tímida nos estaleiros mercantes americanos e brasileiros. Conforme já foi dito, a construção naval contemporânea é o tipo de indústria que, de tão competitiva, não oferece muito espaço para novos *players*, logo as técnicas que serão posteriormente apresentadas buscam dar a indústria naval com os problemas indicados acima uma sobrevida que possa impulsioná-la para um momento de autossuficiência. As dificuldades são claras, um investidor pode comprar uma embarcação na Coreia por um terço do valor cobrado pelo mesmo tipo nos Estados Unidos (ICAF, 2001), ou ainda, um estaleiro americano gasta com insumos para a construção de uma determinada embarcação o mesmo valor que a Coreia do Sul gastaria para construir todo o navio (ICAF, 2002). No caso do Brasil além do custo elevado pode-se citar a incidência da carga tributária sobre o preço final de 35,1% para navios tanque, enquanto na Coreia do Sul e China esse valor não ultrapassa 17% e 18%, respectivamente, ou 31,2% para plataformas offshore, enquanto na Coreia do Sul e China esse valor não ultrapassa 13% e 15%, respectivamente.

De acordo com uma pesquisa desenvolvida num panorama recente do BNDES, o sistema tributário nacional: i) implica desvantagem aos produtores locais nos mercados interno e externo; ii) prejudica a eficiência econômica, pois distorce a alocação de recursos nos mercados; iii) desestimula o investimento, pois onera os bens de capital; iv) é complexo, dificultando o cumprimento das obrigações e a harmonização internacional; v) facilita e/ou estimula a evasão; e vi) instiga a guerra fiscal (Barbosa, 2012). Portanto fica claro que além do imperativo da melhoria da produtividade dos estaleiros nacionais há uma real necessidade de modificação da legislação tributária e trabalhista brasileira, a fim de que a construção naval nacional possa atingir novos estágios de competência e competitividade.

Recentemente, estaleiros americanos com foco na construção naval militar obtiveram resultados extremamente expressivos de melhoria na sua eficiência produtiva utilizando técnicas consagradas de planejamento e controle de produção, advindas tanto da própria indústria naval quanto de indústrias de áreas pouco correlatas. A partir do êxito destes estaleiros, e da situação de conformidade das realidades da indústria de construção naval brasileira e americana, buscar-se-ão no decorrer deste trabalho a indicação de pontos de melhoria, resultados que podem ser obtidos através de otimizadores e análises de HH para construção de um PLSV.

Sabe-se que os indicadores de produtividade apresentados nos estaleiros sul-coreanos e japoneses foram desenvolvidos através da aplicação de técnicas de planejamento e controle de produção por longos períodos de tempo, além de um desenvolvimento eficaz de cadeias de suprimento em regiões circunvizinhas, fazendo da Ásia Oriental a região mais competitiva nessa atividade. Há portanto a oportunidade de pensar na indústria naval local como um ponto de partida e tomar a indústria naval coreana e japonesa como um paradigma a ser atingido, elencando prioridades para os estaleiros nacionais e quais os processos da construção naval podem ser tomados como pontos de controle da eficácia, ou ineficácia, das medidas adotadas.

### **3. Particularidades da construção naval**

#### **3.1. Heterogeneidades presentes na indústria de construção naval**

A indústria de construção naval, bem como outras indústrias de construção pesada tais como a civil, possui certas características que lhe conferem um grau maior de dificuldade em processos de planejamento para longo prazo. Aplicar métodos de controle de produção em uma indústria como a naval, na qual a maior parcela dos navios segue para a construção sem ter o seu design detalhado concluído, faz dessa atividade mais complexa e incerta do que se espera. Baseado nesta premissa, Koskela (1992) fez uma análise dos estudos desenvolvidos por Nam e Tatum (1988) e Warszawski (1990), que focavam nos problemas da indústria de construção civil, usando um foco voltado para a indústria de construção naval. Para cada uma das características abaixo expostas Koskela buscou fazer uma abordagem que identificasse os problemas de controle e aprimoramento dos processos causados por cada uma das dificuldades expostas, além de buscar delimitar soluções estruturais e operacionais, seja para controle ou para melhoria. As cinco características peculiares da indústria naval podem ser apresentadas como:

- **Projetos sem padronização**

No caso da ausência de padronização nos projetos, torna-se ainda mais evidente a clássica da indústria naval: “Não há nada mais diferente que dois navios iguais”. A alta variação de projetos de embarcações, tanto no que se refere a sua formatação como também a sua área de atuação, com novos tipos de navios criados para funções cada vez mais específicas, faz com que o nível de controle de resultados por parte do setor de planejamento dos estaleiros seja bastante afetado. São observados como problemas de controle de processos dessa peculiaridade a coordenação de incertezas em certas atividades, ausência de ciclos pré-definidos devido a alta rotatividade dos projetos, entrada de pedidos por parte dos clientes variável devido a demanda variável do mercado. Já o maior problema de aprimoramento do processo torna-se a não repetitividade de projetos, fazendo do planejamento em longo prazo questionável. Para tais dificuldades definiu-se como um ponto de partida para solução estrutural a minimização do conteúdo “um do tipo” no projeto. A partir do ponto de vista de soluções operacionais poder-se-ia criar ciclos artificiais de acompanhamento de trabalho, contingenciar atividades geradoras de



incertezas. Por fim, seria possível criar como melhoramento dessa particularidade um substancial acréscimo na flexibilidade dos produtos e serviços, cobrindo uma grande variabilidade de processos e necessidades.

- **Local de construção**

No caso do local de construção há uma vasta possibilidade de diferenciações de capacidades de processamento de aço, içamento e transporte de blocos, tipo de lançamento e docagem para outfitting. Podem-se listar ainda como outros problemas de controle de processos as incertezas externas atuantes no local de construção, como por exemplo, os fatores climáticos, ou ainda incertezas internas como a interdependência de fluxos, layout modificado e a variabilidade de produtividade da força de trabalho. É possível, portanto, delimitar como um problema base para o aprimoramento dos processos a dificuldade de fluir, dentre os mais diversos ambientes e atividades, no ambiente do estaleiro as mesmas melhorias, para tal foi observado que uma medida estrutural eficaz na resolução, ainda que parcial, desse entrave seria a diminuição das atividades com alto fluxo de material. Usar ambientes fechados, a fim de evitar alta exposição a intempéries climáticas, planejamento detalhado e contínuo, além de equipes de trabalho multidisciplinares podem ser apontados como as melhores soluções para controle operacional. Por fim, seria possível estabelecer como solução de melhoramento desta particularidade uma melhoria na capacidade de planejamento e análise de riscos, além de sistematizar processos.

- **Multi-organização temporária**

No que se refere a multi-organização temporária surge um dos mais presentes termos da construção naval: a subcontratação. Os trabalhadores terceirizados, além de desempenharem atividades que necessitam de supervisão permanente, possuem altos índices de acidentes de trabalho o que influencia diretamente no fluxo contínuo da produção. Os maiores problemas de controle de processos relacionados a esta característica se relacionam ao fato da troca de dados dentro da estrutura

organizacional pode ser desconexa, causando forte dificuldade em anseios de melhoria nos processos através dos limites da empresa, visto que o estímulo e o acúmulo de resultados positivos obtidos para uma dada empresa subcontratada não serão necessariamente repetidos caso aplicados a outra empresa que preste serviços ao estaleiro. É considerada uma melhoria estrutural para esta particularidade a diminuição de interfaces organizacionais temporárias, as quais causam interdependência exagerada e engessam o fluxo de informação. Soluções voltadas para o controle operacional neste sentido podem ser entendidas como um projeto de desenvolvimento em equipe, no qual tanto a empresa contratante quanto a contratada saibam de maneira bem precisa suas obrigações, resultando na melhoria do fluxo integrado de informação entre as empresas parceiras.

- **Intervenção regulatória**

A questão da intervenção regulatória atinge a indústria de construção naval fortemente devido às altas exigências de agências externas de regulação da operação das embarcações, em especial àquelas que irão desempenhar papel na área de óleo e gás, como também das agências internas que avaliarão nos mais diversos níveis a construção do navio, bem como sua conformidade com os requisitos do cliente. A grande dificuldade que pode ser creditada a esse fator seria a necessidade de manter a indústria de construção naval sempre capaz de empregar as mais novas tecnologias, com baixíssima *expertise* prévia, que mantenham os regimes de segurança operacional das embarcações nas restrições previamente definidas. Indica-se ter consciência profunda dos ciclos de aprovação inerentes ao processo de construção de embarcações, além de boa inspeção e controle de qualidade interno, a fim de aprimorar o controle operacional geral.

- **Produto seguindo para a produção sem conclusão de seu projeto**

Por término, há ainda a característica que simboliza bastante como é contumaz a necessidade de um planejamento eficaz e controle de execução altamente estratégico: o projeto segue para a produção sem seu detalhamento concluído. Esse

tipo de fato, largamente comum no mundo da construção naval, exceto em navios muito simplórios e padronizados, introduz o que se chama de componente de projeto. Esse termo indica o surgimento de componentes que são definidos ainda na fase de projeto, em contraste com os artigos que são pré-definidos e adquiridos de acordo com as necessidades da produção. Portanto, flexibilidade e precisão de informação são soluções estruturais que discriminam estaleiros eficientes daqueles que não o são, visto que essas características garantem ao setor de planejamento manuseio real dos desafios encontrados na produção.

### **3.2. *Outfitting* avançado: dos conceitos fundamentais a seu protagonismo como a face vantajosa de um planejamento forte**

Na construção naval arcaica a estrutura do casco da embarcação era fabricada e erguida na esteira de lançamento ou dique seco, variando conforme o layout do estaleiro, e o *outfitting* só se iniciava após o lançamento do navio. Como resultado desse procedimento há um substancial acréscimo no tempo total de entrega da embarcação, além da docagem por tempo excessivo que incrementa os custos operacionais do estaleiro. Percebe-se, portanto, que para reduzir o tempo de ciclo de produção, melhorando por consequência a produtividade dos estaleiros, a utilização do *outfitting* avançado apresenta-se como um ponto de inflexão de processos e uma opção de otimização com resultados diretos nos índices.

Em todos os estaleiros modernos, espalhados pelos mais diversos continentes, o conceito do *outfitting* avançado tornou-se modelo padrão sendo adotado, resultando em economias de custos além de outros benefícios que variam conforme a disponibilidade de certas infraestruturas de maquinário. Diversos conceitos distintos foram desenvolvidos buscando o integral acabamento do *outfitting* ainda no estágio de blocos, esses métodos serão introduzidos e discutidos a seguir:

- **Conceito de unidades**

Antes mesmo de um determinado bloco ou sub-bloco do casco ser construído, os componentes de *outfitting*, tais como máquinas, tubulações, bases, são reunidos em uma pequena unidade. A partir do momento em que o bloco ou sub-bloco encontra-se na produção, essa unidade vai sendo instalada, concomitantemente, na

posição pré-definida pelo projeto da embarcação. Pode-se observar que nessa metodologia o trabalho é realizado de maneira diferente da tradicional, aqui duas frentes complementares de trabalho garantem que o índice de finalização do bloco seja atingido de maneira mais rápida e eficaz, garantindo, portanto, redução de custos e de tempo total de trabalho.

- **Conceito de *outfitting* de blocos**

Esse conceito complementa o exposto anteriormente, nessa conjuntura aborda-se o conceito de unidade em largas escalas, visando a instalação de grandes unidades antes mesmo dos blocos serem unidos entre si. Um exemplo de aplicação comum nesse conceito é o içamento de componentes que são geralmente associados a um dado tipo de tubulação e base, como bombas, ou ainda componentes de maquinário pesado, como caldeiras. Esse conceito acaba sendo mais aplicado em estaleiros com um número considerável de alternativas de içamento, sendo a necessidade de movimentação e alocação de componentes limitada pelas opções existentes no estaleiro.

- **Conceito de Tecnologia de Grupo / Estações de Trabalho e Produtos**

Esse conceito vem sendo apontado como uma das mais fundamentais e interessantes estratégias usadas na construção naval moderna. O princípio básico da Tecnologia de Grupo é a identificação das subdivisões de um dado produto, de modo a, ainda que não sejam necessariamente idênticas, são produzidas pelo mesmo processo ou conjunto de operações. A aplicação da Tecnologia de Grupo na construção naval resulta numa completa divisão da embarcação em diversas partes, congregadas sob o ponto de vista do tipo de trabalho necessário para construí-la e erguê-la. Cada divisão passa então a ser enviada para grupos de produção diferentes, especializados naquela dada atividade e nos processos ali aplicados, garantindo assim além de melhora na eficiência geral, um padrão de qualidade final conforme o buscado.

Foi recorrente o questionamento da necessidade de agrupar unidades e componentes em categorias, muito devido ao pensamento que estações de trabalho distintas podiam trazer consigo uma maior probabilidade de falhas complexas em áreas como montagem final. Entretanto, o que se observa na realidade é a oferta de

uma melhoria contínua e substancial na produção graças ao método de grupos, visto que cada estação de trabalho é especializada em realizar o seu respectivo trabalho com excelência, sendo equipada com ferramentas, maquinário e mão de obra específica. Esse tipo de junção de premissas ideais garante ao setor de Planejamento do estaleiro maior facilidade na sua missão, como também mantém uma carga de trabalho constante e mais uniforme, melhorando o desempenho dos colaboradores daquele dado grupo de trabalho. Outro fator muito bom que vem como resultado desse tipo de metodologia é a possibilidade futura de utilizar o mesmo grupo de trabalho para um projeto de navio diferente, mas com componentes e atividades que se enquadram no modelo já adotado.

- **Conceito de Zona de *Outfitting***

A palavra zona aqui toma um significado que pode variar de um simples compartimento a um deck do navio, dependendo apenas da definição adotada pelo estaleiro. Logo, deve ser considerada como zona uma dada subdivisão do navio escolhida por conveniência de outfitting de unidade, bloco, anel ou até a bordo do navio já lançado. Existem três práticas de Zonas de Outfitting, as quais variam conforme a escala de sua aplicação, sendo estas: nas unidades, nos blocos e no casco.

Pode-se perceber que os conceitos apresentados ofertam ao estaleiro um acréscimo no controle de seus procedimentos, da produção ao acabamento, cujo impacto direto é observado na melhoria da capacidade do setor de planejamento de compreender as atividades de maneira holística e mais interconectadas. A oferta de um fluxo de dados com informações mais precisas, além da percepção do número ideal de trabalhadores e insumos para cada etapa de produção, é essencial para alavancar os índices de produtividade de um estaleiro.

O efeito financeiro que essas medidas trazem, ainda que demonstrado de maneira mais minuciosa nas descrições das abordagens, pode também ser observado numa análise macroestrutural, visto que ampliar a capacidade produtiva, sem demandar aumento de mão-de-obra nem tampouco investimentos em infraestrutura, é um ponto chave numa indústria que almeja ser competitiva.



Figura 3 - Exemplo de Zona de Outfitting, neste caso uma Praça de Máquinas (Fonte: Marine Insight).

### 3.3. Implementação do *Outfitting* avançado: como conciliar o ideal de produtividade à realidade do estaleiro

Estaleiros que implementaram o *outfitting* avançado devem possuir uma determinada infraestrutura disponível, a fim de permitir não só a aplicação desse método de maneira eficaz, como também maximizar os benefícios obtidos a partir da metodologia praticada. Existem fatores que devem ser analisados no processo de tomada de decisão da implementação ou não do conceito de *outfitting* avançado, são estes:

- **Layout geral do estaleiro**

Ao planeja-se modernizar um estaleiro antigo, visando a implementação do conceito de *outfitting* avançado, deve-se levar em conta o redesenho do layout pré-existente. Deve-se compreender como layout todo o complexo composto pelos galpões de aço (da estocagem às oficinas de fabricação de blocos), oficinas de

*outfitting* e áreas passíveis de remanejamento, de maneira a fazer do fluxo de trabalho algo sequenciado, com baixa necessidade de movimentação de carga e força de trabalho entre oficinas. Já quando se deseja implementar o conceito de *outfitting* avançado num estaleiro novo o layout deve ser planejado de maneira tal a fazer das áreas de estoque de materiais (tais como o estoque de chapas de aço), galpões de fabricação de blocos e unidades e áreas de *outfitting* o mais próximo do dique seco, ou da esteira de lançamento. Além disso, devem ser disponibilizados guindastes e outros equipamentos apropriados para movimentação nas atividades desempenhadas em cada área, sendo estes correspondentes à capacidade máxima de peso do bloco daquele dado galpão, levando-se em conta não só o peso do aço como também o do maquinário que deve ser instalado.

- **Departamento de Projeto e Engenharia adaptado ao *Outfitting* avançado**

O Departamento de Projeto e Engenharia num estaleiro moderno deve se adequar ao emprego de técnicas que viabilizem o emprego da estratégia de *outfitting* avançado ora abordada, como a indústria de construção naval tem seus setores bastante integrados, a adaptabilidade de cada uma das áreas as novas demandas criadas é um ponto crucial no êxito de implementação do *outfitting* avançado. Normalmente, nos estaleiros de construção naval convencional, os desenhos que são gerados pelo Departamento de Projeto e Engenharia são feitos dirigindo-se a Sistemas já pré-definidos, tais como o sistema da Praça de Máquinas, sendo cada subsistema presente ali representado em desenhos distintos. Para a aplicação do *outfitting* avançado deve-se buscar um alinhamento entre a preparação dos desenhos e a estrutura de sequenciamento de construção definida pelo planejamento, a fim de garantir que o trabalho simultâneo de *outfitting* e construção do bloco seja de fato uma realidade.

Sabe-se que nos estaleiros o processo de detalhamento de projeto de uma embarcação é orientado de maneira a levar em conta a construção por blocos do navio, entretanto ao aplicar a ferramenta do *outfitting* avançado há uma mudança de postura e é então tomada uma divisão de blocos e sub-blocos que tomem como fator limitante as capacidades máximas de içamento e transporte presentes no estaleiro. A partir deste ponto, todos os processos de detalhamento de projeto são realizados focados nas subdivisões realizadas e com foco no *outfitting*. Em conjunto com os

desenhos é também desenvolvida uma lista com os materiais necessários para a fabricação daquele dado bloco ou sub-bloco, incluindo o maior número possível de componentes da estrutura, desde maquinário a tubulações e bombas. A partir dessa definição prévia por bloco/sub-bloco o departamento de produção pode realizar um acompanhamento concentrado no trabalho a ser realizado sobre essa subdivisão sob uma perspectiva mais particularizada. Usando o conceito de Tecnologia de Grupo integrado ao de *Outfitting* avançado, bastante comum em estaleiros Japoneses e Coreanos, pode-se então esperar que os desenhos sejam preparados baseados em cada uma das estações de trabalho definidas, a fim de que o trabalho seja feito sem maiores problemas e com baixo índice de retrabalho.

- **Planejamento adequado de aquisição de materiais**

É sob esse aspecto que área financeira de um estaleiro orbita, os custos de aquisição de aço, bem como de outros insumos, variam bastante conforme a demanda do mercado. Logo, o setor de planejamento deve realizar densas análises no que se refere ao momento ideal de compra, em intervalos de tempo de entrega pouco custosos, a fim de não influenciar negativamente a programação de produção.

- **Triagem de materiais para as áreas de *outfitting* avançado**

Há um risco real de criação de gargalos na produção caso o *outfitting* avançado seja implantado sem um treinamento prévio da mão-de-obra, além de infraestrutura inadequada. Para mitigar esse tipo de resultado contraproducente deve-se prover um bom entendimento do processo por parte dos trabalhadores, garantindo a estes a compreensão clara da triagem dos materiais e equipamentos necessários para o nível de *outfitting* desejado para um dado bloco/sub-bloco. Devem-se estar presentes nos desenhos as especificações das operações que ocorrerão durante a triagem, em ordem cronológica, deixando claros os estágios que devem ser seguidos no estaleiro.



## 4. Análise de ferramentas de controle e planejamento produtivo

### 4.1. Lean Thinking

Na primavera de 1950 um engenheiro japonês chamado Eiji Toyoda realizou uma visita a maior fábrica Ford, denominada Rouge, na região de Detroit-Michigan, buscando aprender sobre o sistema de produção ali aplicado. Tanto a economia japonesa quanto a Toyota Motor Company encontravam-se em crise, após 13 anos de esforços a Toyota só havia atingido a produção de 2685 automóveis, enquanto a fábrica Rouge da Ford era capaz de produzir 7000 veículos por dia. Naquela época a maior fábrica da Ford também era conhecida como o mais eficiente complexo industrial do mundo, tendo esse fato sido estudado *in loco* por Eiji Toyoda e pelo seu engenheiro de produção Taiichi Ohno.

Ao retornarem para terras japonesas, Eiji e Taiichi concluíram que produção em massa não funcionaria no Japão, além de terem observado que havia possibilidade de aprimoramentos ainda mais incisivos no sistema de produção presente na planta Rouge da Ford. Naquele momento a própria Toyota enfrentava grandes desafios:

- O mercado doméstico japonês era pequeno e demandava uma grande variedade de tipo de veículos.
- A economia japonesa estava devastada pela guerra, com pouco capital no mercado para financiamento. Logo, qualquer grande investimento em tecnologias ocidentais seria impossível de ser viabilizado.
- O mundo já se encontrava com grandes montadoras já estabelecidas no mercado.

Percebe-se então que a Toyota possuía poucas opções de atuação num mercado bastante dinâmico, que já contava com grandes *players* já estabelecidos e alta competitividade de preços. Foi então que Taiichi Ohno passou a buscar solucionar os problemas que a empresa enfrentava tomando como ponto de partida a valorização do patrimônio humano da empresa, no qual ele observava um recurso valioso e que seria essencial a guinada que a companhia estava prestes a sofrer. Ao fim da década de 60 Ohno havia implementado suas inovações de produção enxuta por todas as

instalações da Toyota, com apoio integral de Eiji Toyoda, espalhando agora o chamado *Lean Thinking* pelas empresas da cadeia de suprimento da companhia.

Na economia moderna houve uma forte modificação na conceituação de lucro e preço, com o passar dos anos os consumidores tornaram-se cada vez mais poderosos, com uma gama cada vez maior de opções de consumo para o mesmo produto, além de um acesso a conteúdos informativos substanciais e acabam demandando cada vez mais produtos melhores por preços mais competitivos. Para dar conta dessa modificação nas redes de consumo as empresas devem modificar sua concepção inicial de preço, como sendo a soma entre os custos e uma determinada margem de lucro, para um entendimento mais factível com os novos tempos, no qual o lucro passa a ser o resultado da diferença entre um preço fixado e os custos. Observa-se então que num ambiente de negócios cada vez mais competitivo só há uma saída para melhorar a margem de lucro nas operações: diminuir os custos. Há, contudo, determinadas decisões que devem ser evitadas ao buscar reduções de custos, tais como canibalizar os custos de manutenção ou ainda enfraquecer a companhia em longo prazo.

O *Lean Thinking* se apresenta então como uma metodologia baseada no ataque ao que os japoneses denominavam *muda* (desperdício), ao passo em que se envolvia a mão-de-obra em atividades de melhoria contínua. Os mestres do *Lean* enfatizam sempre o pensamento como o essencial, que não podia ser simplesmente ensinado, mas sim desenvolvido nos colaboradores das empresas. O *Lean Thinking* iniciou-se na Toyota, mas foi sendo desenvolvido e aprofundado por diversos outros empreendedores de modelos de gestões de produção. A partir das bases do *Lean Thinking* surgiram modelos como o Sistema 5S, a Manutenção produtiva total, o *Jidoka*, dentre outros.

Dennis em seu livro "*Lean Production Simplified*" (2007) realiza uma excelente abordagem sobre o conceito do *muda* e de como ele está presente nos mais diversos níveis das atividades de um trabalhador, desde sua presença no produto real a uma imersão na análise de como o *muda* pode ser dividido em diversas particularidades. Será apresentado a seguir uma análise da razão 5/95 da participação do *muda* na maioria das operações, sendo possível observar o quão importante é compreender a parcela de custos desnecessários vistas na realidade:

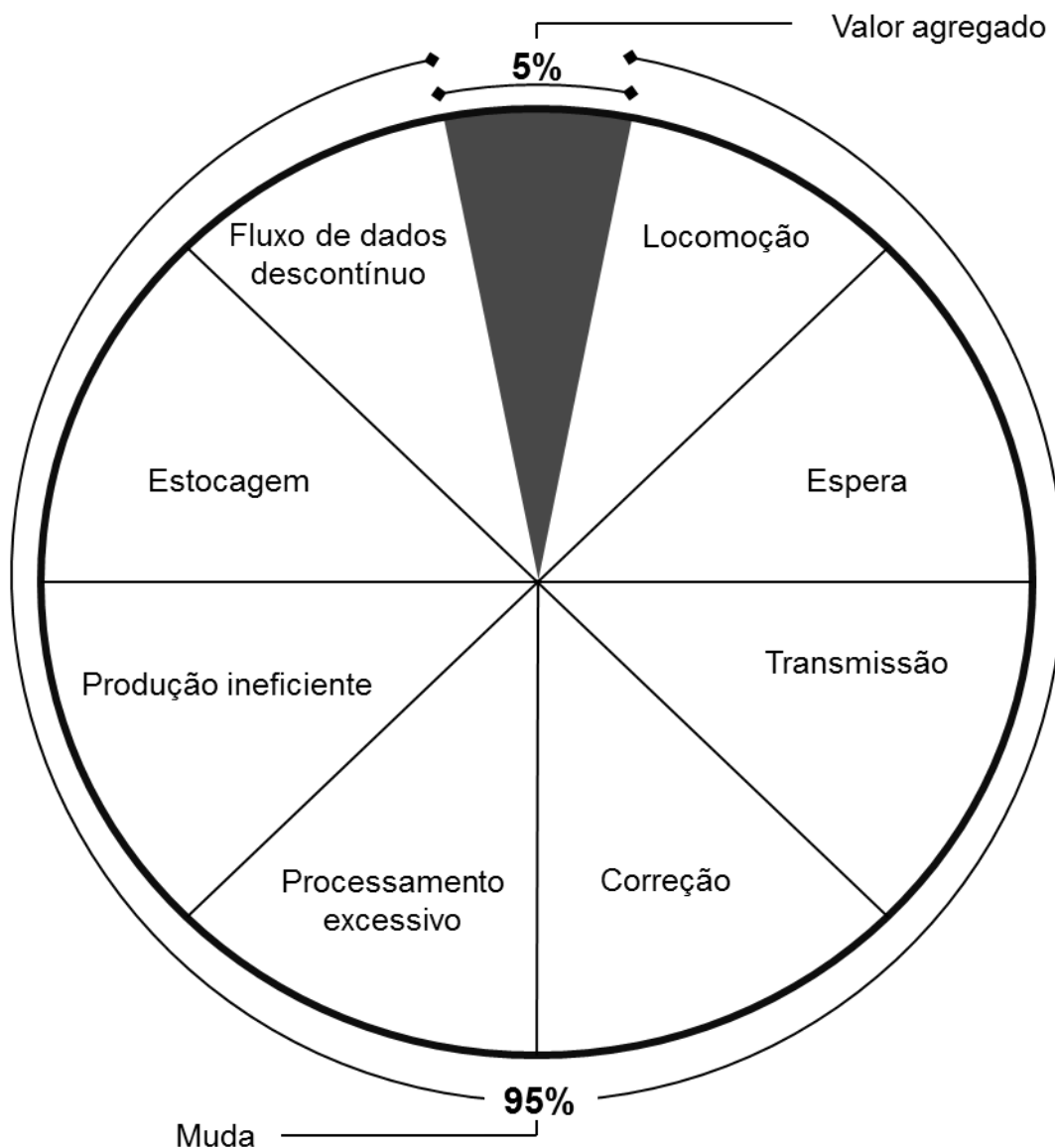


Figura 4 - Caracterização de uma atividade produtiva (Fonte: Lean Production Simplified, Dennis (2007)).

- **Locomoção** – Esse tipo de desperdício conta com elementos humanos e de maquinário. A componente humana se relaciona diretamente a baixa ergonomia de estações de trabalho, incidindo diretamente na produtividade e qualidade da atividade ali realizada. Ergonomia deficiente é talvez um dos maiores impactos que a indústria pode sentir na segurança de suas operações, visto que lesões ergonômicas representaram mais de 50% das lesões em locais de trabalho na América do Norte. O componente de desperdício relacionado ao maquinário está mais ligado a deslocamentos desnecessários

por parte de um trabalhador entre máquinas que poderiam estar dispostas de maneira mais próxima.

- **Espera** – Desperdícios relacionados a espera podem ir desde o tempo despendido pelo trabalhador sem realizar nenhuma atividade por estar aguardando a entrega de uma dada matéria, ou ainda quando há filas para uso de maquinário, ou paralização na linha de produção. Há uma situação em particular que esse tipo de desperdício se mostra mais claramente, nos casos de excessivo trabalho em processamento (*work-in-process*, *WIP*) devido a grande parcelas da produção ser feita em lotes, ou problemas em equipamentos de uso no decorrer do fluxo produtivo, ou por fim, o mais comum, a presença de retrabalho. O atraso é um ponto crítico no *Lean Thinking* e deve ser combatido, visto que o mesmo incrementa o tempo de retenção do produto, resultando num processamento excessivo do mesmo e em mais operações e custos.
- **Transmissão** – Esse tema inclui os desperdícios em larga escala causados por *layouts* impróprios de estações de trabalho, podendo ser reduzido fazendo uso de lotes de produção menores e com processos imediatos sempre próximos entre si, além de maquinário com dimensões compatíveis com o local de sua instalação.
- **Correção** – O desperdício correlato aqui se relaciona a necessidade de corrigir produtos defeituosos, compreendendo todo o material, tempo e energia envolvido no processo de reparação. Esse tipo de desperdício traz consigo um peso sobre o custo final de produção, devendo ser evitado sempre.
- **Processamento excessivo** – Pode ser visto como o tipo de desperdício relacionado a realização de atividades que não vão de encontro as requisições do consumidor, gerando um despendimento de tempo e atenção e incremento de custos desnecessários.
- **Produção ineficiente** – Esse tipo de descompasso produtivo pode criar diversos efeitos negativos na operação industrial, desde a construção e manutenção de almoxarifados cada vez maiores à contratação de mão-de-obra emergencial para cobrir algum atraso pontual. Logo o custo operacional é elevado e perde-se controle dos indicadores de avanço e trabalho em progresso.

- **Estocagem** – O desperdício de estocagem está relacionado a manutenção de materiais desnecessários, partes de produtos, dentre outros problemas que estão conectados geralmente a descompassos entre as demandas de mercado e a capacidade fabril de resposta ou a um fluxo de trabalho exposto a contrações repentinas.
- **Fluxo de dados descontínuo** – Esse tipo de problema existe no momento em que há desconexão interna na empresa, ou entre a empresa e seu consumidor ou fornecedores. O desperdício aqui é relacionado a inibição de novas ideias, práticas e criatividade dos funcionários, criando um ambiente de contínua perda de oportunidades de melhoria, tanto interna quanto na interface com o mercado.

Entendidos os fatores componentes do *muda* deve-se também reconhecer que o sistema produtivo não se encontra livre da influência de fatores externos, como toda atividade econômica a produção de bens manufaturados sofre com a volatilidade do mercado e da situação macroeconômica global. Como a mitigação de riscos tornou-se um dos alicerces de operações financiamento houve um forte aumento no custo de capitalização e, além disso, os mercados encontram-se cada vez mais fragmentados resultando numa competição cada vez mais acirrada e numa pressão cada vez maior na diminuição dos custos de produção a fim de garantir que o preço final do produto atenda as exigências do mercado em termos de qualidade e ao produtor em termos de margem de lucro. Há no setor industrial outro fator externo de alta capacidade de influenciar nos resultados que está ligada a alta taxa de reposição de soluções tecnológicas, máquinas cada vez mais eficientes são lançadas todos os dias para fazer as mesmas atividades ou congregando atividades que anteriormente eram realizadas por outros equipamentos.

O *Lean Thinking* se baseia em alguns conceitos suporte que simbolizam as diversas práticas que se busca implementar em um dado processo produtivo, são elas:

- Poka-yoke - Ajuste que aprimora um dado processo, normalmente sugerido pelos próprios trabalhadores.
- Kaizen - Processo de aprimoramento contínuo.
- Kanban - Manutenção do Takt e níveis de estoque.

- Takt - Tempo necessário para a realização do processo, a partir da existência do interesse do cliente.
- Jidoka - Uso da automatização nos processos aliada ao controle humano.
- Just in time - Sistema de administração da produção que determina que nada deve ser produzido, transportado ou comprado antes da hora exata.

Para o uso de tais conceitos os mestres do *Lean* realizavam análises bastante densas a fim de entender todas as atividades fabris, realizando o mapeamento de processos, analisando a qualidade e o tempo demandados na fabricação dos produtos e realizando medições para assegurar que o tempo alocado na atividade era o mesmo que tivera sido apontado como ideal pelo planejamento. Através dessas atividades de acompanhamento os mestres então apontavam o *mura* e o *muri* presentes em todos os processos produtivos analisados. Essas duas palavras japonesas representam aquelas que sejam talvez as maiores dificuldades da ânsia do setor industrial em harmonizar sua produção: discordância do fluxo de trabalho e processos de difícil execução.

O *mura*, que simboliza a discordância do fluxo de trabalho, geralmente é causado devido a flutuação nos planos de produção, com etapas de trabalho intenso e alta demanda de materiais e mão-de-obra e etapas com trabalho demandado mais regular, com atividades simples. Essa volatilidade alta é atacada pelo Lean Thinking a partir do ponto de vista de nivelamento do fluxo de trabalho, pois usando o mapeamento dos processos realizado anteriormente pode-se fazer uma divisão mais regular das atividades.

O *muri*, que simboliza processos de difícil execução, está geralmente relacionado a um planejamento de execução de trabalho inadequado, com alocação ineficiente de pessoal, materiais e equipamentos, ou ainda especificações técnicas feitas de maneira pouco clara, precisa e inadequada ao maquinário disponível. Essa ineficácia do planejamento de execução de trabalho alta é atacada pelo Lean Thinking desde sua origem, pois uma das premissas do mesmo é a capacidade de planejar e executar atividades minimizando riscos de fluxo de informação inadequado, buscando sempre aperfeiçoar a produção e minimizar o *muda*.

## 4.2. Six Sigma

Em 1730 Abraham de Moivre, matemático francês exilado no Reino Unido, definiu a curva normal dando sequência aos trabalhos de Jacob Bernoulli (Teorema dos grandes números) e de seu sobrinho Nicolaus Bernoulli, matemáticos suíços. No ano de 1733 ele publicou seus trabalhos na obra “*The doctrine of chances*” e a descoberta teve logo grande sucesso, com grandes nomes ainda hoje ligados à curva normal, tais como, Laplace que em 1783 a utilizou para descrever a distribuição dos erros, e Gauss que em 1809 a empregou para analisar dados astronômicos. Hoje em dia, a curva normal é um ganho fundamental em ciência, porque a normalidade ocorre naturalmente em muitas, senão todas as medidas de situações físicas, biológicas e sociais, além de ser fundamental para a inferência estatística.

Graças à curva normal diversos segmentos de estudos estatísticos de acompanhamento de produção puderam ser desenvolvidos, na década de 1920, Walter Shewhart demonstrou que um processo com variação maior ou igual a três sigma de sua média requeria correção. Mais tarde, muitos outros padrões de medição, tais como CPK e *Zero Defects*, apareceram, contudo a utilização do termo *Six Sigma* é atribuída originalmente ao engenheiro da Motorola Bill Smith.

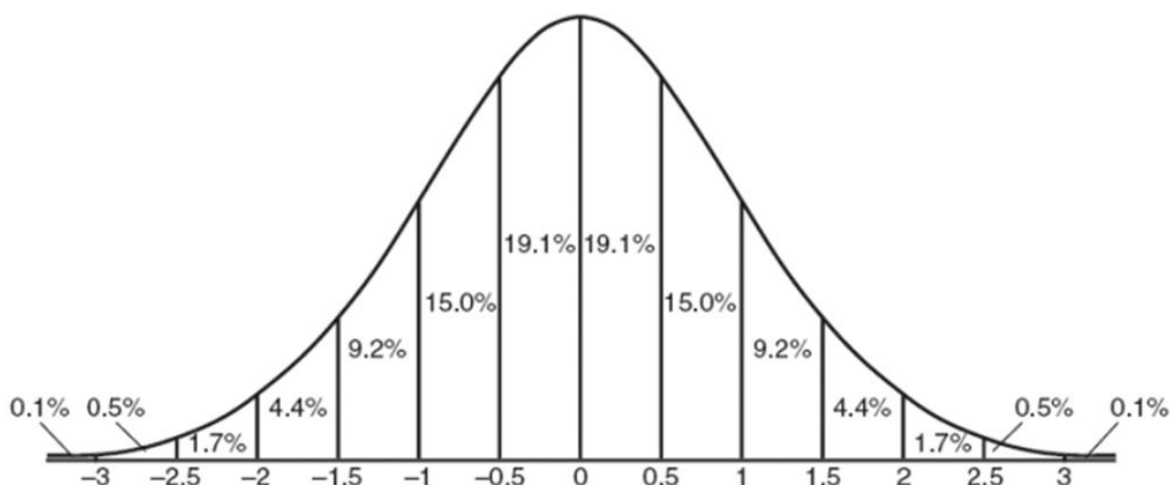


Figura 5 - Exemplo de curva normal (Fonte: NY State Education Department).

Em meados da década de 80, quando a Motorola era comandada por Bob Gavin, o seu departamento de Engenharia estabeleceu uma modificação nos níveis de qualidade da companhia. Até aquele momento os níveis de qualidade eram mensurados em milhares de oportunidades e não forneciam resultados

suficientemente satisfatórios, logo decidiram modificá-lo para o grau de milhões de oportunidades como um nível de qualidade padrão. Essa ferramenta de análise de qualidade mede o quanto o processo se distancia da perfeição, considerando o número de defeitos por milhão, definido como 3,4 defeitos por milhão de oportunidades o número ideal. Foi então que a Motorola desenvolveu um conceito pioneiro e criou a Metodologia *Six Sigma*, a qual requisitou uma mudança de cultura na própria empresa, e tem ajudado a mesma a atingir grandes resultados, que se contabilizados até hoje atingem mais de US\$16 bilhões em benefício financeiro.

Com o sucesso da ferramenta veio junto sua expansão para diversas outras empresas americanas, e ainda que primeiramente o *Six Sigma* tenha sido utilizado somente no setor de manufatura, passo a se tornar cada vez mais forte sua presença no setor de serviços. Pode-se considerar o a metodologia do *Six Sigma* como um método de melhoria e otimização de processos, onde dados e análises estatísticas são utilizados como forma de acompanhamento e melhoramento do desempenho operacional das empresas. Logo é possível afirmar que o objetivo do *Six Sigma* encontra-se num tripé formado por alto nível de desempenho, confiabilidade e valor para o cliente.

O *Six Sigma* fora originalmente desenvolvido para controle estatístico da qualidade, entretanto sua área de atuação se diversificou com o passar do tempo e na atualidade é largamente utilizado na área de melhoria da comunicação com clientes, empregado e acionista, além da análise de viabilidade econômica de novos equipamentos.

O *Six Sigma* inclui duas principais metodologias: DMAIC e DMADV. O DMAIC é utilizado para um processo já existente, enquanto o DMADV é utilizado para a criação de um novo produto ou processo. Usando DMADV para novos projetos normalmente pode resultar em um processo mais previsível e, por fim, produto de maior qualidade. As fases de implementação do *Six Sigma* através da metodologia DMAIC são sequenciadas a partir das iniciais de cada etapa, sendo estas: *Define* (Definição), *Measure* (Medição), *Analyze* (Analisar), *Improve* (Melhorar), *Control* (Controlar). Já as fases de implementação do *Six Sigma* através da metodologia DMADV são sequenciadas a partir das iniciais de cada etapa, sendo estas: *Define*



(Definição), *Measure* (Medição), *Analyze* (Analisar), *Design* (Projetar), *Verify* (Verificar).

Abaixo as fases da Metodologia DMAIC serão sintetizadas:

- Definição - Nessa fase é realizada a definição do objetivo da aplicação do método, de suas necessidades, do que é crítico para qualidade do processo e do negócio envolvido. São definidas de maneira clara as fronteiras do projeto e o foco através do entendimento do fluxo dos processos.
- Medição - Mensuração do desempenho do processo envolvido na aplicação do método através de um desenvolvimento de planos de coletas de dados do mesmo, determinando os erros e certificando-se do foco correto no projeto.
- Análise - Análise dos dados e o mapeamento para a identificação das causas-raiz dos defeitos e das oportunidades de melhoria. Nessa fase são identificados também os gaps entre o desempenho real e o desempenho esperado, identificando as fontes de variação e os pontos de oportunidades de melhoria.
- Melhorar - Melhoramento do processo alvo através da criação de soluções preventivas para os problemas, identificando e eliminando as causas dos mesmos pela raiz.
- Controle - Implementação de ações corretivas e preventivas, controles de desempenho e de melhorias de futuros processos.

Ao voltar o foco para as fases que pertencentes à metodologia DMADV é possível sintetizar o âmbito de atuação das mesmas da seguinte maneira:

- Definição - Nessa primeira parte os líderes do projeto identificam demandas e necessidades que consideram importantes para o procedimento. Essa análise é realizada através de uma pesquisa de dados históricos, *feedback* do consumidor final e outras fontes de informação.
- Medição - Nessa segunda parte há a definição das métricas de coleta e registro de dados, cujo intuito é criar um embasamento teórico que norteie a análise. Todos os processos necessários à produção eficaz ou a um dado processo têm indicadores de acompanhamento alocados, os quais serão utilizados posteriormente para avaliar as decisões tomadas.

- Análise - Os resultados dos processos de manufatura, sejam os que resultam num produto final ou só de um dado processo, são testados por equipes internas a fim de definir uma linha base para o processo de aprimoramento. São identificadas áreas de ajuste nos processos que poderão resultar em melhoramentos tanto para a qualidade do processo quanto para o produto final.
- Projetar - Os resultados internos são comparados com as demandas e os anseios esperados para o produto final, quaisquer ajustes adicionais necessitados são realizados. O aprimoramento do processo produtivo é testado e grupos de consumidores finais oferecem seu *feedback* sobre o produto final ou o procedimento, antes do mesmo ser entregue.
- Verificar – O último estágio dessa metodologia é contínuo, enquanto o produto ou serviço está prestes a ser entregue e opiniões dos clientes são obtidas, o processo pode ser reajustado. Os indicadores são então desenvolvidos para obter informações cruciais no resultado final de *feedback* dos consumidores do produto ou processo. Novas informações podem levar a novas modificações, as quais podem requisitar início de mudanças imediatas, logo uma nova aplicação do DMADV pode ocorrer em áreas subsequentes.

Tanto o DMAIC quanto o DMADV são utilizados objetivando acompanhar diferentes setores de um dado processo produtivo simultaneamente, mas abordando os mesmos de maneira separada. Cada metodologia possui seus próprios conjuntos de orientações e alvos traçados durante o processo de coleta de dados, que serão posteriormente usados em acompanhamentos de ferramentas estatísticas. Diferenças a parte, as metodologias se sobrepõem durante o diagnóstico dos processos e compartilham o mesmo objetivo final, a melhoria do processo produtivo.

#### **4.3. Lean Six Sigma**

Há diversas correntes quanto ao surgimento do Lean Six Sigma, muitos sustentam que suas origens se confundem com as iniciativas de qualidade de Joseph Juran, quando em seu Ciclo PDCA ele adicionou uma etapa de busca contínua por padrões de qualidades cada vez maiores, outros grandes nomes da área de gerenciamento de qualidade como Peter Drucker acredita que a ideia de melhoria contínua de processos podia ser observada desde a *Bell Telephone System* do

período pós-guerra até sua falência na década de 80, mas que se estabeleceu de maneira mais consistente após os resultados apresentados na Motorola. A Motorola não foi pioneira no uso de uma ferramenta de aprimoramento do controle estatístico de qualidade por mera coincidência, a empresa atuava num ramo onde sofria concorrência direta com a indústria mais competitiva e comprometida com o controle de qualidade, a indústria de eletrônicos japonesa. No período pós-guerra os produtos japoneses eram sinônimos de baixa qualidade e eram vendidos no varejo como de segunda categoria, condição totalmente oposta a dos períodos pós-década de 70 quando representavam o que havia de mais moderno e inovador em produtos eletrônicos.

Pressionadas cada vez mais pela alta eficiência e qualidade dos produtos da indústria japonesa, diversas outras empresas seguiram a Motorola e aderiram ao método *Six Sigma*, a General Electric implementou-o em 1995 seus processos internos e a Ford no ano 2000. Com os anos o *Six Sigma* evoluiu como ferramenta de gerenciamento de qualidade na qual aprimoramento de processos torna-se um objetivo intermitente, não apenas aplicado a processos com problemas pontuais ou com resultados insuficientes.

A principal diferença entre o *Six Sigma* e o *Lean Thinking* é o tipo de ênfase que cada metodologia dá e o procedimento que cada uma utiliza para obter o seu objetivo final. O *Six Sigma* faz uso de uma abordagem estatística e pode ser pensado como uma ferramenta de controle de processos de uma maneira em que os dados obtidos são utilizados como base estatística. Adicionalmente há um instrumento presente no *Six Sigma* que o torna ainda mais adaptável ao caso em análise: há uma estrutura de abordagem ao problema já pré-estabelecida, a qual aprimora não só a qualidade do processo de planejamento como também garante que o tempo consumido durante essa fase não seja crítico. Pode-se assimilar as maneiras de abordagem de cada metodologia de uma forma mais clara utilizando a formulação teórica apresentada por Naves (2002), adaptando-a para as tabelas apresentadas abaixo:

Metodologia	Lean Thinking
Teoria de base	Reduz o desperdício
Guia de aplicação	1. Identificar o valor 2. Identificar o fluxo do valor 3. Fluxo 4. Manejar 5. Aperfeiçoar
Tipo de foco	Foco no fluxo
Premissas	A remoção do desperdício aperfeiçoará a performance Melhoras pontuais diversificadas em pontos de produção será mais eficaz que uma análise de todo o sistema
Efeito primário	Redução do tempo de fluxo de produção
Efeitos secundários	Menores variações Produtividade uniforme Diminuição de estoque Novo sistema de contabilidade Qualidade melhorada

**Tabela 1 - Particularidades do Lean Thinking (Fonte: Inozu *et al* (2006)).**

Metodologia	Six Sigma
Teoria de base	Reduz a variação
Guia de aplicação	1. Definir 2. Mensurar 3. Analisar 4. Aprimorar (ou Projetar) 5. Controlar (ou Verificar)
Tipo de foco	Foco no problema
Premissas	Há um problema já existente Atribui-se valores e números à figuras e processos Os resultados da produção melhoram se a variação em todos os processos é reduzida
Efeito primário	Redução do tempo de fluxo de produção
Efeitos secundários	Menores variações Produtividade uniforme Diminuição de estoque Novo sistema de contabilidade Qualidade melhorada

**Tabela 2 - Particularidades do Six Sigma (Fonte: Inozu *et al* (2006)).**

Quando Mendes (2004) afirma que ao estar atuando separadamente, o Lean Thinking não pode trazer o processo para um controle estatístico e o Six Sigma não é capaz de reduzir o tempo de ciclo produtivo ou o capital investido, ele centraliza em cada metodologia suas maiores críticas. O Six Sigma é ainda hoje considerado inadequado em alguns casos, pois não considera as interações entre sistemas e os processos são aperfeiçoados individualmente. Logo, ponderando sob todos os aspectos acima expostos, pode-se concluir que o Lean Six Sigma é uma técnica de maximiza o valor do produto através de uma taxa de aprimoramento rápido e contínuo,

focado na qualidade final do produto que será entregue ao mercado, melhorando custos, agilidade de processos e capital investido. Geralmente indica-se usar a abordagem do Lean Six Sigma em análises que demandem alta complexidade de dados, com muita informação gerada, a qual requirite uma ferramenta de gerenciamento e controle avançada.

Por fim, no Lean Six Sigma existem cinco princípios que fundamentam e norteiam sua atuação, devendo sempre ser levados em conta no momento de sua aplicação, são estes:

- O primeiro princípio é o do mercado, que significa que o consumidor do produto final sempre deve ser prioritário. Qualquer empresa que buscar implementar o LSS deve buscar adesão imediata dessa cultura em seus funcionários e colaboradores, a fim de fazê-los compreender que sem um mercado demandando seu produto a empresa não mais existirá.
- O segundo princípio é o da flexibilidade, o qual denota que se um processo é facilmente modificável, então é fácil trabalhar com o mesmo. Um processo que é rígido em excesso, permitindo poucas modificações por alguma determinada razão torna-se um possível foco de problemas futuros.
- O terceiro princípio é do foco, deve-se focar nos problemas dentro da empresa e não a empresa inteira em si. Os colaboradores e os executivos devem concentrar-se nos processos da empresa que causam problemas e desperdícios, realizando ajustes nos mesmos e dispensando distrações de outras áreas da produção que estão operando regularmente.
- O quarto princípio é a velocidade, o processo possui diversos detalhes e para que todas as atividades inerentes a produção do produto final possam ser realizadas é possível a ocorrência de lentidão na linha de produção. Logo, o trabalho despendido no processamento deve ser proporcional ao resultado esperado pela companhia.
- O quinto princípio é o da complexidade, deve-se manter a simplicidade nos processos, visto que quando se tem um processo complexo com alto grau de dificuldade em sua execução, então se pode inferir que há algo impróprio em seu planejamento de execução ou até mesmo etapas desnecessárias.

## 5. Horizontes de aplicação do Lean Six Sigma na indústria de construção naval

A utilização do Lean Six Sigma nas empresas mundiais começou a tomar força mais recentemente, quando as empresas que já utilizavam o Lean ou o Six Sigma perceberam que as ferramentas atuando em conjunto eram capazes de melhorar a capacidade de processamento e reduzir as etapas de produção. No caso da indústria naval, o uso das ferramentas integradas é ainda mais recente, tendo como grande case de sucesso a aplicação do Lean Six Sigma na indústria de construção naval militar americana.

O uso do Lean na indústria de construção naval tornou-se comum desde os sucessos obtidos pelos estaleiros japoneses e sua alta eficiência, entretanto o uso do Six Sigma sempre foi mais retardatário na indústria de construção de embarcações devido ao seu uso estar historicamente ligado a indústria de caráter mais leve, cujo produto final era produzido em escalas muito superiores. Com o surgimento de histórias de sucesso na integração entre as ferramentas de gerenciamento e controle de produção acima citadas, mesmo que em setores não necessariamente industriais, houve um novo impulso para uma reformulação da política de gerenciamento produtivo em estaleiros.

No caso americano, pode-se citar como um agente catalisador da introdução dessas técnicas o *National Maritime Research Program* (NSRP) que iniciou a implementação do *Lean Thinking* nos estaleiros americanos de construção naval militar desde o ano de 1999. Widdon (2005) relata que em relatórios de análise de reduções de custos divulgados pela indústria de construção naval houve cerca de US\$377 milhões de economias, das quais mais da metade foi conseguida graças ao uso do *Lean* e de seus conceitos e acredita-se ainda que, quanto mais os recursos do *Lean Thinking* forem explorados, maiores serão os saltos em redução de custos.

Inozu *et al* (2006) mostra que enquanto o uso do *Lean* se tornava cada vez mais comum, o *Six Sigma* ainda tinha pouco alcance na indústria naval norte-americana até o ano de 2000. Entre 2000 e 2002 foram conduzidos estudos no estaleiro Norfolk Naval e Northrop Grumman Newport Shipyard (NGNN) de implementação do Six Sigma. Graças ao apoio do Office of Naval Research, como entidade de suporte financeiro, e a Universidade de Nova Orleans os objetivos

traçados no princípio do planejamento de implementação foram atingidos doze meses antes no estaleiro NGNN. Os resultados apresentados nos estaleiros selecionados foram tão substanciais que em 2004 levaram o Secretário Assistente da Marinha Americana para as áreas de pesquisa, desenvolvimento e aquisição a indicar em uma resolução a necessidade de aplicar as ferramentas ora abordadas tanto na produção quanto na administração dos processos de construção de embarcações novas e reparo em estaleiros prestadores de serviço à Marinha Americana.

Atualmente, com as embarcações requisitando cada vez maiores volumes de materiais específicos, equipamentos, subpartes e especificações, há uma pressão maior sob o controle dos processos, incrementando o risco de defeitos e gargalos produtivos. Há também com esse acréscimo de volume uma pressão ainda maior em *mudas* como locomoção, espera e transmissão, e os custos inerentes a esses tipos de desperdícios devem ser encarados como bastante altos e severamente impositivos de acurácia de planejamento e controle produtivo.

A demanda gerada por um projeto naval de alto padrão, com alto controle de qualidade contínua e seguridade na contenção de custos, diminuição de retrabalho trouxe consigo algumas ferramentas complementares à fase de projeto. Serão a seguir abordadas duas que se apresentam como as mais eficientes e modernas em prática no mercado de construção naval: Design for Six Sigma (DFSS) e Lean Project Planning (LPP). A primeira pode ser vista como mais voltada ao momento específico do projeto da embarcação, já a segunda faz uso do Lean Thinking para realizar um planejamento de construção enxuto e de baixo custo.

Bem como os problemas identificados há pouco, existe também uma maior complexidade no sistema embarcado como um todo, o que demanda um projeto que dê baixa margem de erro as operações que se seguirão na produção. Inozu *et al* (2006) também faz uma análise interessante de como um projeto mal elaborado traz consigo um verdadeiro efeito dominó nas demais etapas de produção, pressionando a eficácia geral nos procedimentos e aumentando os custos finais, tal como é mostrado abaixo:

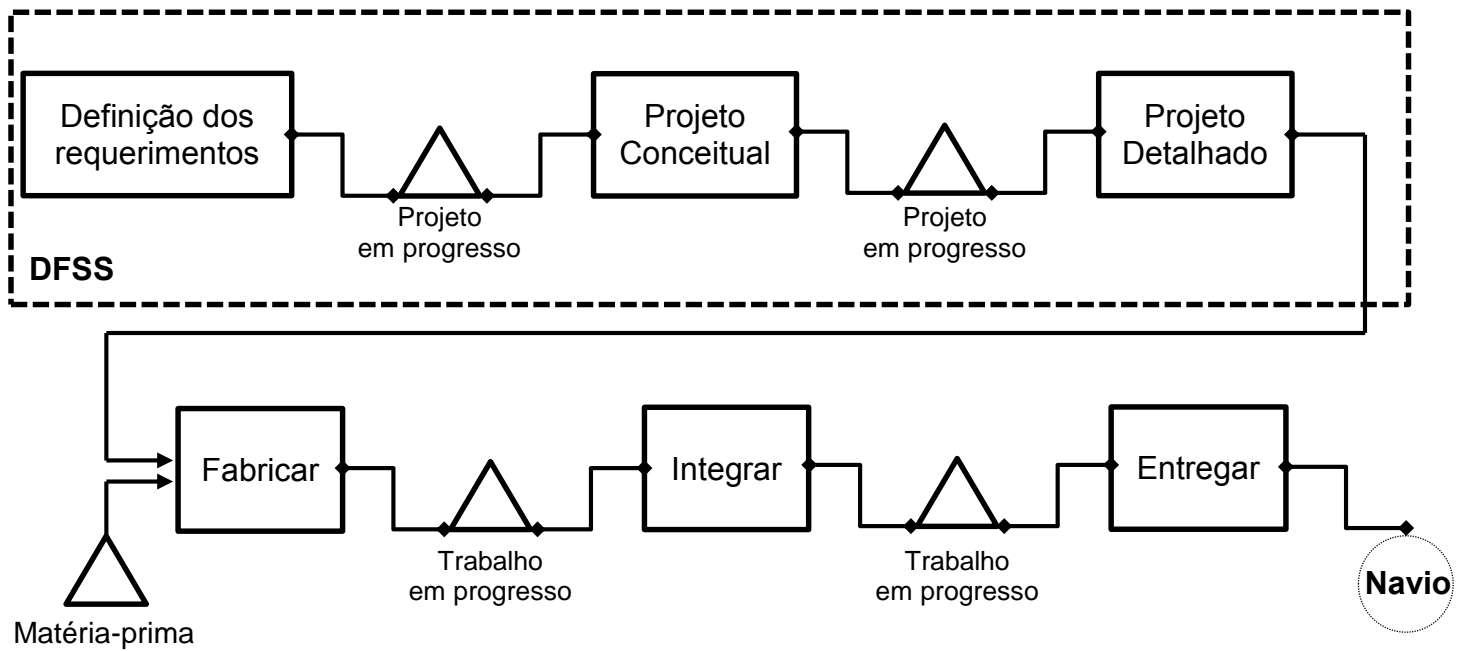


Figura 6 - Esquemática do fluxo de informação completo quando se usa o Design for Six Sigma (Fonte: Inozu et al (2006)).

Ao analisar o desempenho de diversas empresas que utilizam o Lean Six Sigma na indústria naval foi possível identificar uma barreira limitante, compreendida entre 4,5 e 5 sigmas, que se demonstrava contentora de uma integral implementação da ferramenta. Essa barreira estava conectada a problemas com a forma pela qual foi realizado o projeto, o que pediu um adiantamento da aplicação da ferramenta Six Sigma nos processos do estaleiro. O DFSS apresenta-se como uma metodologia de desenvolvimento do processo de projeto, voltada para a satisfação do consumidor do produto estabelecido, o que pode abranger tanto o consumidor final quanto o consumidor do produto realizado na fase de projeto, no caso os setores subsequentes do estaleiro: o planejamento e a produção.

No contexto da indústria de construção naval, o DFSS pode ser determinado a partir das seguintes características:

- Domínio e predefinição de melhores práticas.
- Otimização das métricas do custo para qualidade, a fim de garantir o melhor desempenho do sistema.



- Transformar os anseios do consumidor num projeto, enquanto em paralelo são quantificadas as incertezas relacionadas aos resultados que serão obtidos pelas métricas definidas.
- Usar ferramentas que propiciem o entendimento e controle dos fatores chave que estão intimamente ligados as necessidades do consumidor do produto.

Podem-se inquirir quais então seriam as reais vantagens do uso do DFSS para a indústria de construção naval, visto que o adiantamento da abordagem Six Sigma é algo arrojado e pouco comum. Já foram divulgados diversos dividendos dessa prática em estaleiros ao redor do mundo, dos quais se pode citar:

- Aperfeiçoamento da produção da embarcação, bem como habilidade de modificações pontuais no caso de reformulações em etapas iniciais.
- Melhoria na satisfação do consumidor.
- Redução no desenvolvimento de ciclos produtivos
- Redução no custo do ciclo de vida.

Conforme citado anteriormente o DFSS envolve a implementação de procedimentos e métodos que visem entender os desejos, anseios e necessidades do consumidor de maneira a realizar a atividade do projeto condizente com a resposta esperada pelo consumidor. Fundamentalmente, acredita-se que o DFSS é na verdade uma ferramenta que ajuda o engenheiro a otimizar os parâmetros que são cruciais a qualidade do produto ofertado, resultando em produtos e processos mais simples, confiáveis e com variabilidade reduzida (Mader 2002, Gupta 2001, Harry e Schroeder 2000, Eckes 2001, Crevelling *et al.* 2003).

A utilização do DFSS em complemento ao Lean Six Sigma é benéfica também em termos de compreensão geral dos processos de maneira holística, da produção ao projeto, passando pelas necessidades do consumidor final e pelo acompanhamento dos processos de tomada de decisão no decorrer da construção. A seguir é apresentada uma tabela bastante esclarecedora sob o DFSS sob vários aspectos que transforma sua linha teórica em algo menos disperso e enlatado, além de demonstrar também quais as fraquezas inerentes ao uso desta ferramenta:

Metodologia	Design for Six Sigma (DSS)
Teoria de base	Produto apropriado
Guia de aplicação	1. Identificar a oportunidade 2. Definir as necessidades do consumidor final ou seguinte 3. Projetar o produto apropriadamente 4. Otimizar o produto e os processos inerentes ao mesmo 5. Validar os resultados obtidos
Tipo de foco	Necessidades do consumidor do produto É possível definir os anseios do consumidor do produto
Premissas	Os requisitos definidos não serão modificados Atingir os anseios do consumidor garante validação do resultado obtido para a melhoria feita
Efeito primário	Satisfação do consumidor do produto
Efeitos secundários	Aplicação apropriada de recursos Rastreabilidade de requisições Diminuição de estoque Redução do desenvolvimento dos ciclos produtivos Melhor eficiência operacional Variabilidade concentrada em aspectos de acordo com o projeto
Críticas	Critérios múltiplos conflitantes pedem balanceamento no atendimento aos anseios do consumidor Rastreabilidade de requisições torna-se extremamente difícil para produtos com alta complexidade Anseios indicados pelo consumidor <i>a priori</i> podem causar resultados não otimizados

**Tabela 3 - Particularidades do Design for Six Sigma (Fonte: Inozu et al (2006)).**

Os mais importantes métodos importados do Six Sigma para o DFSS foram os relacionados ao controle operacional e de tolerância, visto que podem ser aplicados na definição, medição e validação dos aspectos presentes na manufatura do produto. Ao passo que, usando o Six Sigma, é possível prover métodos e ferramentas capazes de quantificar os recursos da cadeia de suprimentos para cada processo, os engenheiros passam a ter acesso as características dos processos e do produto. Sendo assim, o engenheiro coparticipante é capaz de entender como processos e produtos se conectam aos recursos disponíveis no estaleiro, permitindo a expansão da implementação do Lean Six Sigma para além da faixa limitante dos 4,5 / 5 sigmas.

Ao aprofundar a utilização dessas técnicas é necessária uma ferramenta que lide com os dados gerados, propiciando o gerenciamento da informação e a obtenção dos informes essenciais ao pleno funcionamento do Lean Six Sigma. A gestão de conhecimento quando unida ao LSS é reconhecida como uma maneira útil de capitalizar os ganhos gerados através da melhoria contínua, de modo a transferir continuamente as lições aprendidas nas mais diversas áreas nas quais o LSS fora implementado. Logo, listam-se as melhores técnicas observadas, independente de quais setores as mesmas são provenientes, criando um verdadeiro kit de boas práticas. A reprodução dessas boas práticas é, contudo, algo complexo e que exige a identificação de oportunidades de replicação e quais as práticas mais ajustáveis a

realidade analisada, levando em consideração os recursos em todos os estágios de processamento do produto, adaptando-as e monitorando seus resultados.

A *American Productivity and Quality Center* (APQC) realizou estudos de benchmarking em diversas grandes empresas que fizeram uso da gestão de informações integrada ao LSS, o intuito da instituição era apontar quais foram os elementos chave que influenciavam na capacidade de replicação das boas práticas. Foram identificados diversos fatores, entretanto para o caso da indústria de construção naval existem seis elementos que podem ser assinalados como bastante importante: forte apoio da liderança, integração, treinamento, métrica, prestação de contas e reconhecimento. Entretanto, como cada empresa possui sua própria cultura de trabalho, sua própria estratégia de mercado e mão de obra com característica própria, há uma inércia a ser vencida que muitas vezes desencoraja o processo por inteiro. Logo, deve-se encarar a replicação como algo ajustável a realidade da empresa e não o inverso, a fim de se evitar frustrações financeiras e trabalhistas.

Existem atualmente no mercado discussões diversas a respeito de métodos capazes de realizar um processo de replicação de maneira eficiente e respeitando as particularidades dos empreendimentos, dentre as quais a apresentada por Inozu et al (2006), mais aplicável a realidade da indústria naval. Neste estudo, as recomendações de replicação dividiram-se em cinco elementos considerados essenciais ao sucesso da reprodução, sendo estes: integrar, facilitar, anunciar, recompensar e mensurar.

Tal como a gestão de informação, o processo de replicação também deve ser integrado formalmente como um membro do plano de melhoramento contínuo, presente na estrutura do LSS previamente já abordada. Fora observado no artigo como atitude de caráter mandatário a identificação de oportunidades de reprodução das boas práticas em todas as etapas pelas quais o produto irá passar, garantindo assim que ao passar para o próximo estágio de manufatura o produto traga consigo não apenas as características esperadas, mas também os indicativos de pontos de otimização e oportunidades de replicação.

No caso da questão de facilitar a replicação, surgem de maneira bastante clara as necessidades de uma comunicação bastante assertiva e agilidade de compartilhamento de informação, uma vez que há um grande volume de dados

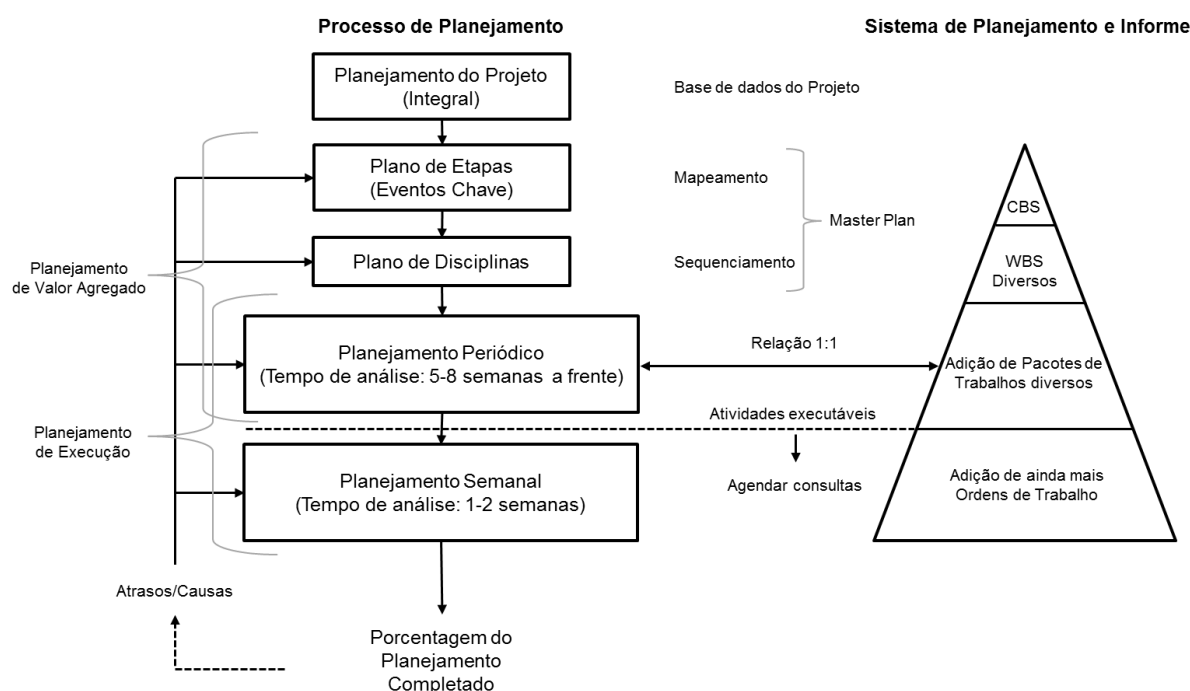
gerados e demandas de comunicação contínua. O uso de ferramentas de TI apresenta ganhos consideráveis no que tange a velocidade de troca de informações, sendo hoje em dia largamente utilizadas nas mais diversas áreas da construção naval. Fora observado, entretanto, que a troca de opiniões de maneira direta entre indivíduos, sem o uso de recursos digitais nem eletrônicos, propiciava relatos mais eficazes sobre dificuldades e lições aprendidas.

Como o alcance dos resultados obtidos deve ser abrangente a todos os colaboradores da empresa, independentemente de sua atividade e setor, há a necessidade de anunciar não apenas êxitos obtidos com o LSS, como também as lições e os erros. Portanto, com os funcionários da empresa a par de suas conquistas e de seus desejos para o curto, médio e longo prazo, é possível que as metas traçadas sejam atingidas de maneira mais rápida e com melhores resultados individuais, visto que as pessoas estão cada vez mais conscientes de seus papéis. E é a partir desse ponto que entra o outro foco da replicação, a recompensa para os funcionários que se dedicam não apenas no cumprimento de suas funções, como também no atingimento de metas. A recompensa não precisa ser necessariamente monetária, tributos a desempenhos acima do esperado são citados como boas alternativas, bem como encorajar grupos de trabalho para compartilhamento de conhecimentos sobre a atividade realizada.

Por fim, a necessidade de mensurar o avanço do processo e os resultados obtidos é obrigatória para se observar quais os reais melhoramentos obtidos. A métrica adota pode ser quantitativa ou qualitativa, variando conforme a necessidade do estaleiro ou o tipo de processo onde o LSS está sendo estudado. A ferramenta Lean Project Planning (LPP), utilizada por estaleiros noruegueses com êxito e obtendo resultados expressivos, tornou-se uma das mais eficazes ferramentas de planejamento de projeto, sendo desenvolvida para sobrepor-se a métodos mais fracos de planejamento e notificação. Um dos mais reconhecidos e utilizados instrumentos de planejamento significativo e *feedback* de projetos chama-se Earned Value Management (EVM), visto que o mesmo possui métricas de análise de performance muito boas tais como o *Cost Performance Index* (CPI). De acordo com Flemming & Koppelman (2005) projetos que fazem uso do CPI possuem histórico de desempenho consistente e previsível, permitindo a previsão do custo final a partir de uma série de

dados que são entregues já a partir de 15% a 20% do trabalho completo realizado. Há, entretanto, um forte fator negativo atrelado ao EVM, pois nesse método assume-se que as atividades e a contabilidade analítica são independentes, além de sofrer severas limitações especialmente quando se busca conectar o planejamento de alto-nível com o acompanhamento do progresso das atividades.

Nesse cenário o LPP apresenta-se como uma nova abordagem, baseada principalmente no método LPS (*Last Planner System*), que pode ser dividida em dois aspectos paralelos: o Processo de Planejamento e o Sistema de Planejamento e Informe. O Sistema de Planejamento e Informe é implementado no Primavera P6, um software que inclui recursos de gerenciamento de projetos, colaboração e controle, e conectado automaticamente ao IFS, software de gerenciamento de patrimônios e serviços, e o Processo de Planejamento segue um pouco a metodologia do LPS e alguns elementos presentes no EVM. Pode-se apresentar esse modelo estruturado da seguinte forma:



**Figura 7 - Estrutura presente no Lean Project Planning (Fonte: Emblemsvåg (2008).**

de Etapas, que mapeará os eventos importantes do projeto inteiro, não devendo passar de 25. Logo em seguida aparece o Plano de Disciplinas, responsável por

sequenciar as disciplinas mais importantes a fim de que a série de atividades definidas funcione efetivamente, evitando o retrabalho e trabalho de valor não agregado. Juntos, os planos acima citados formam o *Master Plan* responsável por ver todo o horizonte de execução do projeto.

Na etapa subsequente, denominada Planejamento Periódico, ocorre a junção entre o EVM e o LPS. Nela observa-se um dado espaço de tempo contínuo, localizado a frente do atual, sendo esse tipo de visão interessante no que tange a sua capacidade de melhorar a funcionalidade da visão a longo prazo do LPS, bem como a confiabilidade do EVM. Com o controle das atividades do futuro próximo é possível manobrar problemas ainda não identificados no presente, melhorando a estratégia geral de produção e diminuindo os riscos.

O estágio mais abaixo no Processo de Planejamento é o Planejamento Semanal, essencialmente uma lista de atividades para cada supervisor e sua equipe cumprirem, essa lista deriva do Planejamento Periódico e é ajustada através das disciplinas e das reuniões de acompanhamento. Ainda que pareça simples, o Planejamento Semanal incide diretamente no bom funcionamento da produção, com funções essenciais, visto que estes são excelentes ferramentas de comunicação e coordenação, dão caráter contínuo e regular as demandas de produção.

Por fim, para medir-se como vai a execução do projeto, faz-se uso do PPC proveniente do LPS. Fica claro analisando o sequenciamento então que para o LPP o nível de detalhamento dos planos deve ser diretamente proporcional à proximidade de sua execução. Dessa maneira evitam-se custos de replanejamento, mas mais importante ainda, há um real incremento na capacidade de manobrabilidade da operação, pois tempo e esforço de atualização do planejamento realizado muito distante de sua execução não serão necessários.

## 6. Aplicação do Lean Six Sigma no planejamento de construção de blocos de proa e popa de um PLSV

Conforme demonstrado anteriormente, há uma vasta gama de possibilidades para a aplicação do LSS na indústria de construção naval, desde a fase de projetos ao planejamento real da construção da embarcação. Ao analisarem-se as melhores práticas produtivas em uso no mercado é possível constatar que o uso de conceitos como Tecnologia de Grupo, Outfitting avançado e Estações de trabalho é um ponto de inflexão ascendente em termos de ganhos de produtividade, controle processual e coordenação de incertezas. Baseado nessas premissas pode-se, portanto, deliberar sobre um procedimento que atue como protótipo de acompanhamento de processo produtivo, aliando tanto o Design For Six Sigma quanto o Lean Project Planning como ferramentas paralelas do LSS.

De modo geral o protótipo de acompanhamento ora apresentado poderia ser utilizado na construção de uma base de dados, a abordagem se dá a partir de duas partes da embarcação que contam com altos graus de dificuldade de execução na sua produção: a proa e a popa de um PLSV. O navio ora abordado pode ser melhor descrito através da tabela apresentada abaixo:

Características	
Comprimento total	142,2 m
Boca Moldada	27,46 m
Calado de operação	7,9 m
Porte bruto	9000 t
Velocidade de operação	10 nós

Tabela 4 - Particularidades correspondentes ao projeto de PLSV analisado

Esse tipo de embarcação é vastamente utilizada em operações oceânicas relacionadas a atividades de construção e operação de infraestrutura *subsea*, atuando majoritariamente na conexão entre plataformas de produção e exploração de petróleo e oleodutos que a conectam com a costa. De modo a cumprir sua tarefa fundamental esse tipo de embarcação conta com equipamentos como guindastes, utilizados no manejo com as tubulações e válvulas a serem lançadas no leito oceânico, bem como outros equipamentos de alto teor tecnológico agregado que permitem o mesmo ser, certas vezes, duplamente redundante.



**Figura 8 - Navio PLSV - Skandi Vitória (Fonte: Marine Traffic).**

Há no PLSV um sistema de posicionamento dinâmico de alto grau de precisão, permitindo a embarcação um controle de alto grau da sua posição e velocidade, ainda que em operação em condições de mar pouco ideais. E ao analisar-se o projeto do PLSV ora abordado percebe-se que o mesmo possui um alto valor agregado no que tange a presença de equipamentos e sistemas integrados que garantem ao mesmo operabilidade de alto padrão. Para tal deve-se então garantir que sejam cumpridas severas normas que atestem a qualidade do produto final, o que remete ao foco final do Lean Six Sigma: desenvolver um produto de alto padrão, atendendo aos desejos do cliente final, e ao mesmo tempo obter alto controle de custos e de processos.

No caso de navios com alta complexidade de operação há uma severa elevação do número de processos que serão estabelecidos pelo estaleiro para cumprir as normas rigorosas do armador e da agência classificadora, visto que para esse tipo de embarcação surgem novas demandas inerentes a unicidade do projeto. A partir desse ponto de vista buscou-se trazer para a realidade analisada a Teoria de Grupos



baseada em quatro grandes áreas que seriam utilizadas como finalidade prioritária desde o projeto e planejamento de construção, fazendo com que o projeto da proa e popa dessa embarcação se adaptasse desde o princípio a realidade da produção e ao modelo LSS. Os quatro grupos delimitados compreendem atividades que influenciam de maneira predominante o resultado final da produção desses blocos e sub-blocos, são estes:

- Grupo de conformação de chapas: Blocos de proa e popa já são normalmente reconhecidos por seu alto grau de curvatura de chapeamento, além da necessidade de um acompanhamento incisivo do controle dimensional dessa atividade, visto que o formato final da chapa deve atingir parâmetros bem restritos. Esse grupo compreenderia as atividades desempenhadas na oficina de conformação de blocos, desde a chegada da chapa de aço ao seu processamento, controle dimensional e posterior liberação.
- Grupo de estrutura e soldagem: Devido a sua localização na estrutura da embarcação, blocos de proa e popa possuem um espaçamento entre seus reforçadores estruturais menores se comparados a blocos e sub-blocos localizados a meia nau. Essa particularidade implica em um comprimento total de solda consideravelmente superior a blocos regulares e a um maior controle na disposição de reforçadores longitudinais e transversais, a fim de garantir segurança na operação da embarcação. Esse grupo compreenderia as atividades desempenhadas na oficina de fabricação de blocos, trabalhando paralelamente aos grupos mais ligados à etapa de *outfitting*, garantindo que os blocos ao saírem da oficina atingissem níveis cada vez mais elevados de acabamento.
- Grupo de equipamentos e bases: Uma embarcação do tipo PLSV conta, como explicitado anteriormente, com um sistema de posicionamento dinâmico bastante complexo, com acionamento totalmente elétrico e propulsores azimutais retráteis na proa, além de *bow thrusters* e propulsores azimutais fixos de popa. Essa elevada quantidade de propulsores por si só já garantiria a validade de um acompanhamento maior dos blocos de proa e popa na análise ora estabelecida, entretanto são os sistemas auxiliares que fazem desta ainda mais necessária. Cada sistema propulsivo conta com uma gama de equipamentos bastante diversa, o que pede um alto controle de liberação de

bens por parte do almoxarifado do estaleiro, bem como definição desde o planejamento e sequenciamento de construção de locais oportunos para a instalação imediata, já em posição final, destes itens de alto valor. Esse grupo compreenderia as atividades desempenhadas na oficina de fabricação de blocos, trabalhando paralelamente aos demais grupos mais ligados à etapa de *outfitting* e ao Grupo de Soldagem. A função primordial dessa equipe estaria ligada claramente a instalação de bases e alocação dos equipamentos em suas posições finais, entretanto seria também bastante esclarecedor acompanhar os índices relativos a sua operação, visto que os mesmos seriam indicadores claros de fatores chave a eficácia de aplicação do LSS como um design e planejamento voltados para a atividade do Grupo.

- Grupo de tubulação e válvulas: O comprimento total de tubulações presentes em embarcações como essa já seria alto normalmente, entretanto como o PLSV aqui analisado é uma embarcação duplamente redundante esse número sofre outro acréscimo. O processo de fabricação e instalação de tubulações e válvulas na construção naval vem apresentando-se como um processo ideal para sofrer processos de modelação LSS, visto que além da atividade ser de fácil acompanhamento e controle de custos, há no mercado cada vez mais tecnologias que aprimoram diversas etapas desse processo. Logo, fazendo uso da premissa acima levantada, atribui-se ao grupo de tubulações e válvulas as atividades que ocorrem na manufatura da oficina de tubulações e na montagem e instalação final que ocorrem na oficina de fabricação de blocos.

Uma distorção em certos cenários da construção naval pode resultar em severos retrocessos, tanto em questão de tempo despendido quanto em custos, logo para maximizar os benefícios da implementação do LSS, o conceito de implementação dessa metodologia nos processos produtivos do estaleiro deve ser feito em estágios. Como dito na introdução a teoria do LSS há certa necessidade de adaptação de mão-de-obra a nova cultura, logo para que essa adaptação ocorresse de maneira mais eficaz e tivesse resultados mais visíveis, esse foi um dos fatores que levou a escolha dos grupos acima apresentados.

O uso do LSS adaptado aos blocos de proa e popa do PLSV traz consigo um alto potencial de sucesso e retorno de investimento, particularmente pelo fato dos blocos e sub-blocos localizados nessa região terem certas características propícias ao uso do Lean Project Planning, tais como:

- Processos repetitivos, associados majoritariamente ao mesmo equipamento;
- Ambiente de trabalho não muito disperso, quase sempre o trabalho é totalizado na mesma oficina;
- Fluxo muito alto de volume de material e partes, sendo muito desses similares no que se refere a sua família funcional de base;
- Equipes de trabalho estáveis numericamente falando;
- Capacidade de alavancar a eficiência do resultado final, melhorando tanto a qualidade quanto a acurácia do processo como um todo;
- Capacidade de ser altamente controlados com índices e termos de mensuração.

Cada grupo anteriormente mencionado deverá ser acompanhado através de três pontos prioritários e três pontos secundários, estabelecidos de acordo com os tipos mais comuns de desperdícios inerentes a cada atividade. A maior importância da definição destes pontos está ligada a possibilidade de mensurar estatisticamente como a impressão de mudanças poderá modificar os índices de produção de cada um desses grupos, trazendo benefícios, ou ainda mais custos, para a operação do estaleiro. Para cada grupo estão listados abaixo os seus respectivos três pontos prioritários e secundários de interesse de acompanhamento:

- Grupo de conformação de chapas
  - Pontos prioritários
    - Índice de controle dimensional – Indicará a porcentagem de descompasso dimensional sob o número total de chapas processadas.
    - Tempo de operação – Indicará quanto tempo durou a operação escolhida para análise, sendo esse definido como o intervalo total necessário para realizar a atividade completamente, atendendo aos parâmetros de qualidade previamente estabelecidos.

- Índice de recursos despendidos – Indicaré qual é o custo total com insumos para a realização da operação, não incluindo custos trabalhistas.
- Pontos secundários
  - Índice de retrabalho – Indicaré qual o custo da operação de ajuste ao processo anteriormente realizado de maneira falha, incluindo aqui os custos adicionais com insumos e mão-de-obra aos já calculados para a operação que resultou em um produto com qualidade abaixo da esperada.
  - Tempo ocioso dos operadores – Indicaré quanto tempo os operadores passam sem realizar atividades que agreguem valor a empresa.
- Grupo de estrutura e soldagem
  - Pontos prioritários
    - Índice de controle dimensional – Indicaré a porcentagem de descompasso dimensional sob o número total de chapas processadas.
    - Tempo de operação – Indicaré quanto tempo durou a operação escolhida para análise, sendo esse definido como o intervalo total necessário para realizar a atividade completamente, atendendo aos parâmetros de qualidade previamente estabelecidos.
    - Índice de recursos despendidos – Indicaré qual é o custo total com insumos para a realização da operação, não incluindo custos trabalhistas.
  - Pontos secundários
    - Índice de retrabalho – Indicaré qual o custo da operação de ajuste ao processo anteriormente realizado de maneira falha, incluindo aqui os custos adicionais com insumos e mão-de-obra aos já calculados para a operação que resultou em um produto com qualidade abaixo da esperada.

- Tempo ocioso dos operadores – Indicará quanto tempo os operadores passam sem realizar atividades que agreguem valor a empresa.
- Grupo de equipamentos e bases
  - Pontos prioritários
    - Índice de controle de bens do almoxarifado – Indicará quais os bens (equipamentos, materiais, componentes, etc.) que são necessários para a realização da operação se encontram de fato aptos para liberação por parte do almoxarifado, sendo estes liberados em grupo conforme a finalidade deste for definida. Dessa forma evita-se extravio de bens, dispersão no controle de saída e chegada de equipamentos e garante-se o fluxo contínuo de trabalho na estação.
    - Tempo de operação – Indicará quanto tempo durou a operação escolhida para análise, sendo esse definido como o intervalo total necessário para realizar a atividade completamente, atendendo aos parâmetros de qualidade previamente estabelecidos.
    - Índice de recursos despendidos – Indicará qual é o custo total com insumos para a realização da operação, não incluindo custos trabalhistas.
  - Pontos secundários
    - Índice de retrabalho – Indicará qual o custo da operação de ajuste ao processo anteriormente realizado de maneira falha, incluindo aqui os custos adicionais com insumos e mão-de-obra aos já calculados para a operação que resultou em um produto com qualidade abaixo da esperada.
    - Tempo ocioso dos operadores – Indicará quanto tempo os operadores passam sem realizar atividades que agreguem valor à empresa.
- Grupo de tubulação e válvulas
  - Pontos prioritários

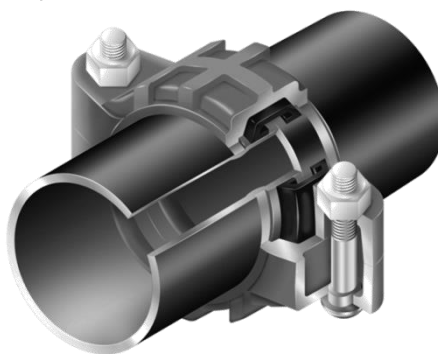
- Índice de controle de bens do almoxarifado – Indicará quais os bens (equipamentos, materiais, componentes, etc.) que são necessários para a realização da operação se encontram de fato aptos para liberação por parte do almoxarifado, sendo estes liberados em grupo conforme a finalidade deste for definida. Dessa forma evita-se extravio de bens, dispersão no controle de saída e chegada de equipamentos e garante-se o fluxo contínuo de trabalho na estação.
  - Tempo de operação – Indicará quanto tempo durou a operação escolhida para análise, sendo esse definido como o intervalo total necessário para realizar a atividade completamente, atendendo aos parâmetros de qualidade previamente estabelecidos.
  - Índice de recursos despendidos – Indicará qual é o custo total com insumos para a realização da operação, não incluindo custos trabalhistas.
- Pontos secundários
    - Índice de retrabalho – Indicará qual o custo da operação de ajuste ao processo anteriormente realizado de maneira falha, incluindo aqui os custos adicionais com insumos e mão-de-obra aos já calculados para a operação que resultou em um produto com qualidade abaixo da esperada.
    - Tempo ocioso dos operadores – Indicará quanto tempo os operadores passam sem realizar atividades que agreguem valor à empresa.

A partir desses índices é possível mensurar e indicar quais os maiores custos operacionais da empresa, bem como quanto custam as suas operações inadequadas. A habilidade do LPP de permitir através do Planejamento Periódico e Semanal uma previsibilidade das etapas subsequentes faz desse estudo algo propositivo, pois além de ofertar ao Planejamento uma conexão contínua entre o almoxarifado e a linha de produção por grupos, permite também que haja a possibilidade de indicar se a ferramenta está sendo de fato produtiva para aquela dada atividade.

Os indicadores acima apresentados abordam os principais custos inerentes aos processos presentes num estaleiro de construção naval e dão ao responsável pelo acompanhamento desses processos, seja este o armador ou o próprio estaleiro, condições de delinear o desempenho desejado baseado nos planos definidos no Plano de Etapas. Um exemplo de êxito no acompanhamento de uma atividade pode ser observado recentemente, quando no Estaleiro Vard Promar surgiu a possibilidade de um projeto de melhoria de eficiência na área de tubulações.

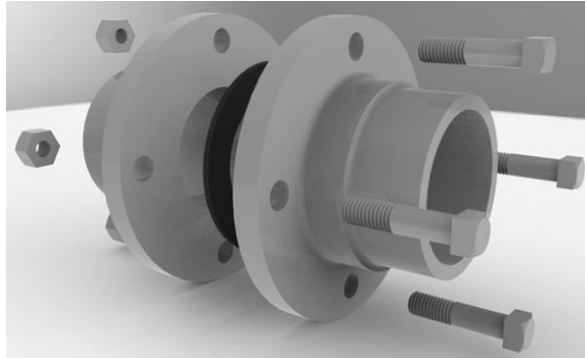
Conforme abordado anteriormente as operações com tubulações, desde a sua pré-fabricação até sua instalação, são geralmente bons pontos de partida para iniciar a aplicação do Lean Six Sigma na indústria naval. O procedimento padrão de junção de redes tubulares, através de flanges parafusados, é majoritário nas redes de transporte de fluidos dentro das embarcações construídas atualmente, contando com toda uma rede de suprimento de partes como flanges, parafusos, juntas, dentre outros. Entretanto, surgiu na indústria há pouco mais de quinze anos novas tecnologias que visavam aperfeiçoar tanto o tempo de pré-fabricação quanto o de instalação de tubulações, sendo o método de acoplamentos estanques nas extremidades tubulares um exemplo de alta capacidade de dinamização da produção e diminuição voraz nos custos. Abaixo estão apresentados esquemas que representam o procedimento descrito anteriormente dos dois tipos de manejo com tubulações:

- Procedimento de junção por acoplamento



**Figura 9 - Representação gráfica de uma junção de tubulações por acoplamento (Fonte: Victaulic)**

- Procedimento de junção convencional



**Figura 10 - Representação gráfica de uma junção convencional de tubulações (Fonte: Grabcad)**

O uso de acoplamentos como o apresentado previamente em junções de tubulações de sistemas embarcados já é feito em outras instalações do Grupo Vard, entretanto nem sempre o uso desse tipo de artifício se mostra economicamente viável. Acoplamentos como estes abordados tem alto custo, pois devem garantir estanqueidade, ter baixa componente vibracional e induzir uma perdas de cargas pequenas, logo o processo de tomada de decisão da aplicação ou não desse utensílio deve ser feito com base em dados bastante precisos e que levem em conta o custo em seus mais diversos âmbitos.

Tomando como premissa os princípios do Lean Six Sigma aplicou-se então na necessidade de melhoria no processo de tubulação um acompanhamento estratégico, com medições contínuas de tempos de operação, custos com materiais e equipamentos, além do custo com a própria mão-de-obra demandada. Foram definidos os diâmetros de maior incidência sob o resultado financeiro final da operação de tubulações, buscando demonstrar com os resultados a escala de alcance financeiro que cada processo traz consigo. O procedimento de acompanhamento dos processos será detalhado a seguir e a compreensão das etapas descritas é de suma importância na análise final, visto que como a implementação do uso do método de junção de tubulações por acoplamentos passa por um período de curva de aprendizado, certos números que podem estar desfavoráveis nesse momento num futuro próximo podem ser modificados substancialmente. Logo, seguem-se os procedimentos detalhados:



- Procedimento de junção por acoplamento
  1. Definir quais os diâmetros seriam acompanhados, quantas séries de medições seriam feitas, quais os *schedules* seriam definidas como pautas de análise.
  2. Realizar cinco medições para cada diâmetro e *schedule* pré definido como objetivos de estudo de quanto tempo o operador levava para operar a máquina de *groove* até que a ranhura necessária para o encaixe da borracha de vedação do acoplamento esteja com a profundidade desejada.
  3. Realizar medições médias de quanto tempo o operador levava para realizar o controle dimensional da tubulação.
  4. Realizar medições de quantos ciclos de uso dura uma graxa de aderência, discriminando valores para cada diâmetro nominal.
  5. Medir quanto tempo os trabalhadores levam para posicionar as tubulações, de modo a realizar o encaixe perfeito do acoplamento, e o posterior giro de porcas.
  
- Procedimento de junção convencional
  1. Definir quais os diâmetros seriam acompanhados, quantas séries de medições seriam feitas, quais os *schedules* seriam definidas como pautas de análise.
  2. Realizar cinco medições para cada diâmetro e *schedule* pré definido como objetivos de estudo de quanto tempo o operador levava para realizar a soldagem dos flanges nas extremidades da tubulação.
  3. Realizar medições de quanto tempo os trabalhadores gastam para realizar o posicionamento dos tubos adjacentes com suas respectivas flanges com aberturas para parafusos em localidades compatíveis.
  4. Medir quanto tempo é necessário para o encaixe dos parafusos e giro das porcas até o ponto de garantia de estanqueidade.

É possível perceber que os procedimentos acima introduzidos foram pouco detalhados, muito devido ao fato desse estudo estar ainda em sua fase preliminar e a necessidade de diminuir a quantidade de detalhes desnecessários que possam vir a

prejudicar o entendimento final dos resultados. Até o presente momento, para ambos os casos só as etapas de pré-fabricação haviam sido executadas e compiladas em planilhas que, através da análise dos custos médios de materiais, identificavam os custos de cada operação para cada tubulação.

Os resultados obtidos já eram bastante encorajadores, com determinados diâmetros já observando viabilidade econômica do uso de acoplamentos para união de sistemas tubulares. Abaixo serão apresentados alguns dos resultados obtidos, discriminando cada tipo de diâmetro nominal analisado e cada tipo de flange correspondente, sendo os custos indicados sempre em reais (R\$).

- Tubulações com DN de 50mm (2") e não galvanizadas– Procedimento de junção convencional

<b>Flanges</b>				
<b>Materiais</b>	<b>Quantificação</b>		<b>Custo unitário (R\$)</b>	<b>Custo acumulado (R\$)</b>
Flange aço tipo penetração	2	unidades	150	300
Parafusos M16	4	unidades	1,2	4,8
Porcas M16	4	unidades	2,8	11,2
<b>Custo total materiais (R\$)</b>				<b>316</b>
<b>Horas de trabalho</b>	<b>Segundos</b>	<b>Custo hora (R\$)</b>	<b>Custo de operação (R\$)</b>	
Pré-fabricação	550	70,00	21,39	
<b>Custo total com mão de obra (R\$)</b>				<b>21,39</b>
<b>Custo final estimado (R\$)</b>		<b>337,39</b>		

Tabela 5 - Estudo de custos para junção convencional de tubulações com DN 50mm (2") e que fazem uso de flange aço tipo penetração.

<b>Flanges</b>				
<b>Materiais</b>	<b>Quantificação</b>		<b>Custo unitário (R\$)</b>	<b>Custo acumulado (R\$)</b>
Flange aço com ressalto PN16	2	unidades	20,34	40,68
Parafusos M16	4	unidades	1,2	4,8
Porcas M16	4	unidades	2,8	11,2
<b>Custo total materiais (R\$)</b>				<b>56,68</b>
<b>Horas de trabalho</b>	<b>Segundos</b>	<b>Custo hora (R\$)</b>	<b>Custo de operação (R\$)</b>	
Pré-fabricação	550	70,00	21,39	
<b>Custo total com mão de obra (R\$)</b>				<b>21,39</b>
<b>Custo final estimado (R\$)</b>		<b>78,07</b>		

Tabela 6 - Estudo de custos para junção convencional de tubulações com DN 50mm (2") e que fazem uso de flange aço com ressalto PN16.

- Tubulações com DN de 50mm (2") e não galvanizadas– Procedimento de junção com acoplamento externo

<b>Acoplamento externo</b>				
<b>Materiais</b>	<b>Quantificação</b>		<b>Custo unitário (R\$)</b>	<b>Custo acumulado (R\$)</b>
Acoplamento	1	unidade	94,33	94,33
Graxa de aderência	3%	volume total	90	2,7
<b>Custo total materiais (R\$)</b>				<b>97,03</b>
<b>Horas de trabalho</b>	<b>Segundos</b>	<b>Custo hora (R\$)</b>	<b>Custo de operação (R\$)</b>	
Pré-fabricação	50	70,00	1,94	
<b>Custo total com mão de obra (R\$)</b>				<b>1,94</b>
<b>Custo final estimado (R\$) 98,97</b>				

Tabela 7 - Estudo de custos para junção de tubulações com DN 50mm (2") fazendo uso de acoplamento externo.

- Tubulações com DN de 50mm (2") e galvanizadas– Procedimento de junção convencional

<b>Flanges</b>				
<b>Materiais</b>	<b>Quantificação</b>		<b>Custo unitário (R\$)</b>	<b>Custo acumulado (R\$)</b>
Flange aço tipo penetração	2	unidades	150	300
Parafusos M16	4	unidades	1,2	4,8
Porcas M16	4	unidades	2,8	11,2
<b>Custo total materiais (R\$)</b>				<b>385</b>
<b>Horas de trabalho</b>	<b>Segundos</b>	<b>Custo hora (R\$)</b>	<b>Custo de operação (R\$)</b>	
Pré-fabricação	550	70,00	21,39	
<b>Custo total com mão de obra (R\$)</b>				<b>21,39</b>
<b>Custo final estimado (R\$) 406,39</b>				

Tabela 8 - Estudo de custos para junção convencional de tubulações galvanizadas com DN 50mm (2") que fazem uso de flange aço tipo penetração.

<b>Flanges</b>				
<b>Materiais</b>	<b>Quantificação</b>		<b>Custo unitário (R\$)</b>	<b>Custo acumulado (R\$)</b>
Flange aço com ressalto PN16	2	unidades	20,34	40,68
Parafusos M16	4	unidades	1,2	4,8
Porcas M16	4	unidades	2,8	11,2
<b>Custo total materiais (R\$)</b>				<b>125,68</b>
<b>Horas de trabalho</b>	<b>Segundos</b>	<b>Custo hora (R\$)</b>	<b>Custo de operação (R\$)</b>	
Pré-fabricação	550	70,00	21,39	
<b>Custo total com mão de obra (R\$)</b>				<b>21,39</b>
<b>Custo final estimado (R\$) 147,07</b>				

Tabela 9 - Estudo de custos para junção convencional de tubulações galvanizadas com DN 50mm (2") que fazem uso de flange aço com ressalto PN16.

- Tubulações com DN de 50mm (2") e galvanizadas– Procedimento de junção com acoplamento externo

<b>Acoplamento externo</b>				
<b>Materiais</b>	<b>Quantificação</b>		<b>Custo unitário (R\$)</b>	<b>Custo acumulado (R\$)</b>
Acoplamento	1	unidade	124,16	124,16
Graxa de aderência	3%	volume total	90	2,7
<b>Custo total materiais (R\$)</b>				<b>126,86</b>
<b>Horas de trabalho</b>	<b>Segundos</b>	<b>Custo hora (R\$)</b>	<b>Custo de operação (R\$)</b>	
Pré-fabricação	50	70,00	1,94	
<b>Custo total com mão de obra (R\$)</b>				<b>1,94</b>
<b>Custo final estimado (R\$)</b>		<b>128,80</b>		

Tabela 10 - Estudo de custos para junção de tubulações galvanizadas com DN 50mm (2") fazendo uso de acoplamento externo.

- Tubulações com DN de 125mm (5") e não galvanizadas– Procedimento de junção convencional

<b>Flanges</b>				
<b>Materiais</b>	<b>Quantificação</b>		<b>Custo unitário (R\$)</b>	<b>Custo acumulado (R\$)</b>
Flange aço tipo penetração	2	unidades	332,4	664,8
Parafusos M16	8	unidades	1,2	9,6
Porcas M16	8	unidades	2,8	22,4
<b>Custo total materiais (R\$)</b>				<b>696,8</b>
<b>Horas de trabalho</b>	<b>Segundos</b>	<b>Custo hora (R\$)</b>	<b>Custo de operação (R\$)</b>	
Pré-fabricação	800	70,00	31,11	
<b>Custo total com mão de obra (R\$)</b>				<b>31,11</b>
<b>Custo final estimado (R\$)</b>		<b>727,91</b>		

Tabela 11- Estudo de custos para junção convencional de tubulações com DN 125mm (5") que fazem uso

<b>Flanges</b>				
<b>Materiais</b>	<b>Quantificação</b>		<b>Custo unitário (R\$)</b>	<b>Custo acumulado (R\$)</b>
Flange aço com ressalto PN16	2	unidades	70	140
Parafusos M16	8	unidades	1,2	9,6
Porcas M16	8	unidades	2,8	22,4
<b>Custo total materiais (R\$)</b>				<b>172</b>
<b>Horas de trabalho</b>	<b>Segundos</b>	<b>Custo hora (R\$)</b>	<b>Custo de operação (R\$)</b>	
Pré-fabricação	800	70,00	31,11	
<b>Custo total com mão de obra (R\$)</b>				<b>31,11</b>
<b>Custo final estimado (R\$)</b>		<b>203,11</b>		

Tabela 12 - Estudo de custos para junção convencional de tubulações com DN 125mm (5") que fazem uso de flange aço com ressalto PN16.

- Tubulações com DN de 125 mm (5") e não galvanizadas– Procedimento de junção com acoplamento externo

<b>Acoplamento externo</b>				
<b>Materiais</b>	<b>Quantificação</b>		<b>Custo unitário (R\$)</b>	<b>Custo acumulado (R\$)</b>
Acoplamento	1	unidade	265,66	265,66
Graxa de aderência	6%	volume total	90	5,4
<b>Custo total materiais (R\$)</b>				<b>271,06</b>
<b>Horas de trabalho</b>	<b>Segundos</b>	<b>Custo hora (R\$)</b>	<b>Custo de operação (R\$)</b>	
Pré-fabricação	85	70,00	3,31	
<b>Custo total com mão de obra (R\$)</b>				<b>3,31</b>
<b>Custo final estimado (R\$)</b>		<b>274,37</b>		

Tabela 13 - Estudo de custos para junção de tubulação com DN 125mm (5") fazendo uso de acoplamento externo.

- Tubulações com DN de 125 mm (5") e galvanizadas – Procedimento de junção convencional

<b>Flanges</b>				
<b>Materiais</b>	<b>Quantificação</b>		<b>Custo unitário (R\$)</b>	<b>Custo acumulado (R\$)</b>
Flange aço tipo penetração	2	unidades	332,4	664,8
Parafusos M16	8	unidades	1,2	9,6
Porcas M16	8	unidades	2,8	22,4
<b>Custo total materiais (R\$)</b>				<b>1037,2</b>
<b>Horas de trabalho</b>	<b>Segundos</b>	<b>Custo hora (R\$)</b>	<b>Custo de operação (R\$)</b>	
Pré-fabricação	800	70,00	31,11	
<b>Custo total com mão de obra (R\$)</b>				<b>31,11</b>
<b>Custo final estimado (R\$)</b>		<b>1068,31</b>		

Tabela 14 - Estudo de custos para junção convencional de tubulações galvanizadas com DN 125mm (5") que fazem uso de flange aço tipo penetração.

<b>Flanges</b>				
<b>Materiais</b>	<b>Quantificação</b>		<b>Custo unitário (R\$)</b>	<b>Custo acumulado (R\$)</b>
Flange aço com ressalto PN16	2	unidades	70	140
Parafusos M16	8	unidades	1,2	9,6
Porcas M16	8	unidades	2,8	22,4
<b>Custo total materiais (R\$)</b>				<b>512,4</b>
<b>Horas de trabalho</b>	<b>Segundos</b>	<b>Custo hora (R\$)</b>	<b>Custo de operação (R\$)</b>	
Pré-fabricação	800	70,00	31,11	
<b>Custo total com mão de obra (R\$)</b>				<b>31,11</b>
<b>Custo final estimado (R\$)</b>		<b>543,51</b>		

Tabela 15 - Estudo de custos para junção convencional de tubulações galvanizadas com DN 125mm (5") que fazem uso de flange aço com ressalto PN16.

- Tubulações com DN de 125 mm (5”) e galvanizadas– Procedimento de junção com acoplamento externo

<b>Acoplamento externo</b>				
<b>Materiais</b>	<b>Quantificação</b>		<b>Custo unitário (R\$)</b>	<b>Custo acumulado (R\$)</b>
Acoplamento	1	unidade	381,49	381,49
Graxa de aderência	6%	volume total	90	5,4
<b>Custo total materiais (R\$)</b>				<b>386,89</b>
<b>Horas de trabalho</b>	<b>Segundos</b>	<b>Custo hora (R\$)</b>	<b>Custo de operação (R\$)</b>	
Pré-fabricação	85	70,00	3,31	
<b>Custo total com mão de obra (R\$)</b>				<b>3,31</b>
<b>Custo final estimado (R\$)</b>		<b>390,20</b>		

**Tabela 16 - Estudo de custos para junção de tubulação galvanizada com DN 125mm (5”) fazendo uso de acoplamento externo.**

Ao analisarem-se os resultados acima demonstrados percebe-se que, graças ao uso do Lean Six Sigma voltado à área de operações de tubulações, o estaleiro conta agora com um efeito comparativo direto entre operações distintas. Esse controle entre operações que desempenham o cumprimento de um mesmo objetivo, só que de maneiras mais ou menos eficiente, ofertam ao Planejamento do estaleiro alta capacidade de controle de custos e corte de operações conflitantes com a política LSS. Koskela (1992) indicava que o planejamento de processos produtivos vem enfrentando problemas por focar majoritariamente em mudanças e ignora muito o fluxo de informações e trabalho. O caso exposto acima mostra claramente a importância da análise do LSS sob a luz de acompanhamentos estatísticos e modelagem financeira, as quais permitem a empresa não apenas entender melhor seus processos, como também entender quais são mais viáveis e se a aquisição do equipamento foi de fato benéfica.

## **7. Considerações sobre o estudo de caso**

Como o estudo de caso ora apresentado ainda se encontrava em sua fase inicial de implementação o resultado apresentado anteriormente não deve ser considerado como um indicativo final de viabilidade financeira de um dado processo em detrimento do outro. É interessante notar, contudo, que mesmo em estágio inicial e sem levar em conta determinados custos que podem influenciar o custo final de um dado processo, como a locomoção ou a pintura, a abordagem já delineia um cenário favorável ao uso da junção com acoplamento externo em cenários onde usualmente seriam utilizados flanges com aço tipo penetração.

A abordagem estatística demandada é vasta, visto que para cada operação são realizadas cinco medições de tempo de processo integrais, o que acarreta em um grande volume de informações e demanda um grupo de profissionais que estejam não só a par dos processos analisados, como também dos objetivos de melhoria traçados. Há ainda que se considerar no estudo os consumíveis de soldagem, que irão mandatoriamente encarecer o processo convencional, e tempo de instalação que será um fator incisivo no valor final da operação com a tubulação. De acordo com os fabricantes a utilização de acoplamentos externos na junção de redes de tubulação implica em quedas de até 80% do valor total de hh despendido.

## **8. Considerações finais**

Foram apresentadas, expandidas e debatidas no decorrer desse trabalho diversas técnicas, ferramentas e ideias que legitimam o interesse cada vez mais atual da indústria naval brasileira em se tornar um ambiente dinâmico e inovador, capaz de suprir as demandas nacionais de embarcações com estaleiros de alto desempenho. Deve-se frisar, no entanto que todo o conhecimento ora apresentado não pode nem deve ser utilizado como solucionário generalista dos problemas estruturais que a indústria de construção naval passa no país. Exemplos que ampliam horizontes e edificam novas maneiras de pensar no processo produtivo sempre foram essenciais ao êxito de todas as indústrias do globo, contudo apenas aquelas que conseguiram imprimir esses ideais em sua própria cultura de trabalho tornaram-se líderes de fato em suas respectivas áreas.

A ferramenta apresentada conta também com aspectos que podem ser melhorados, a literatura que aborda as implementações do LSS mostra que a adoção de um baixo nível de Gerenciamento de Qualidade tem forte impacto negativo no sucesso do LSS, entretanto manter uma equipe voltada unicamente ao acompanhamento da Qualidade é custoso e impeditivo à pequenas empresas de construção naval. É também percebido em diversos casos que abordagens iniciais do LSS sem um treinamento adequado a toda equipe traz consigo altos riscos de sustentabilidade do método, desembocando em menores chances de benefícios reais em longo prazo.

Como o modelo proposto no trabalho ora apresentado é baseado meramente em suposições teóricas, que almejam delimitar de maneira mais clara o fluxo de informações e processos, bem como o fluxo de materiais, há uma limitação clara de sua comprovação como algo eficaz. A fim de avaliar a abordagem proposta seria interessante a realização de um projeto piloto voltado para um grupo pequeno de colaboradores internos de um dado estaleiro, a fim de desenvolver nos mesmos a cultura esperada num ambiente de trabalho que faz uso do LSS, e observar quais os resultados que os indicadores previamente apresentados apresentariam financeiramente e comportalmente na empresa.

O Lean Six Sigma é uma ferramenta que deve ser usada como vetor de transformação de realidades na indústria, e para que essa metodologia tenha êxito a



capacitação da mão de obra é mandatória. É essencial para o êxito da aplicação do Lean Six Sigma treinar operadores e coordenadores, pois como esses colaboradores da estrutura interna do estaleiro tem papel de pivô no fluxo de informações, suas contribuições aos processos não é meramente necessária por agregar ideias novas de pensar os antigos e os novos problemas, esses funcionários são os verdadeiros responsáveis por adequar a ferramenta a realidade local e validá-la continuamente.

## 9. Referências

- INOZU, B. NICCOLAI, N. WHITCOMB, C. A. MACCLAREN, B. RADOVIC, I., BOURG, D. 2006 New horizons for Shipbuilding Process improvement, Journal of Ship Production – Volume 22, Maio.
- BRUCE, G. J., EYRES, D. J. 2012 Ship Construction, 7th edition - Butterworth-Heinemann, pp. 219-223.
- EMBLESVAG, J. 2014 Lean project planning in Shipbuilding, Journal of Ship Production and Design, Vol. 30, No2, Maio 2014 – pp 79-88
- KOKSELA, L. 1992 Application of the New Production Philosophy to Construction. Stanford University, Center for Integrated Facility Engineering. Stanford, CA.
- MENDES, M. P. 2004 Preparing and Planning for Six Sigma under a GE perspective, Sixth European Six Sigma Conference, October, Lisbon.
- NAVE, D. 2002 How to compare Six Sigma, Lean and the Theory of constraints framework for choosing what's best for your organization, Quality Progress, March.
- DENNIS, P. 2007 Lean Production Simplified, 2<sup>nd</sup> edition – Productivity Press, New York.
- FLEMING, Q. W. e KOPPELMAN, J. M. 2005 Earned Value Project Management. Project Management Institute, Newton Square, PA.
- NAM, C. H. e TATUM, C. B. 1988 Major characteristic of constructed products and resulting limitations of construction technology, Construction Management and Economics, 6,2, 133-148.
- WARSAWSKI, A. 1990 Industrialization and Robotics in Building: A Managerial Approach. Harper&Row, New York, NY.
- APQC. 2003 Replicating the Gains from Six Sigma and Lean: Capturing and Transferring Knowledge and Best Practices, American Productivity and Quality Center Benchmarking Study Final Report, Houston, TX.
- CREVELING, C. M., SLUTSKY, J. L. e Antis, D. 2003 Design for Six Sigma, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.

- ECKES, G. 2001 The Six Sigma Revolution: How General Electric and Others Turned Processes into Profits, John Wiley & Sons, New York.
- GUPTA, P. 2001 Design for Six Sigma and Lean Manufacturing, Circuits Assembly, December.
- HARRYM, M., SCHROEDER, R. 2000 Six Sigma, the breakthrough management strategy, Currency, New York.
- ICAF. 2001 Industrial College of the Armed Forces Shipbuilding Industry.
- ICAF. 2002 Shipbuilding Sector Remains Uncompetitive, Março.
- MADERr, D. 2002 Successfully integrating Six Sigma, DFSS and Lean, ASQ 2<sup>nd</sup> Annual Six Sigma Conference, October, Lisbon.
- WHIDDON, D. 2005 Improving U.S. Shipbuilding and Repair Through Colaboration, NSRP ASE, Shiptech, March.
- BERGESON, L. 1993 Shipbuilding and Shipbuilding Management, 1943-1993, one mans perspective, SNAME Transactions, 101, 129-140.
- CHIRILLO, L. D., CHIRILLO, R. D. 1985 The history of modern shipbuilding methods: The US Japan Interchange, Journal of Ship Production, Vol 1, No 1, 1-6
- GRAY, W. 2008 Performance of Major US Shipyards in 20th/21st Century, Journal of Ship Production, Vol 24, NO 4, 202-213.
- OTSUBO, S. T. 2007 Post-War Development of the Japanese Industry, Nagoya University EDP&M Program Lectures.
- BARBOSA, A. L. N. H. Desenvolvimento em debate: sistematização do debate sobre sistema “tributário”. Rio de Janeiro: BNDES, 2012.
- ALVES CÂMARA, A. Construções navaes – Revista do Instituto Polytechnico Brasileiro. Rio de Janeiro. T. XVIII 1888.
- TELES, P. C. S. História da construção naval no Brasil, Rio de Janeiro: LAMN, FEMAR, 1<sup>a</sup> Edição 2001.