



ANÁLISE DE MELHORIAS EM UM ESTALEIRO TÍPICO BRASILEIRO
ATRAVÉS DE PRINCÍPIOS DO LEAN PRODUCTION

Larissa Prates Guimarães Petroianu

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Oceânica, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Oceânica.

Orientador: Floriano Carlos Martins Pires
Junior

Rio de Janeiro
Dezembro de 2014

ANÁLISE DE MELHORIAS EM UM ESTALEIRO TÍPICO BRASILEIRO
ATRAVÉS DE PRINCÍPIOS DO LEAN PRODUCTION

Larissa Prates Guimarães Petroianu

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA (COPPE) DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA OCEÂNICA.

Examinada por:

Prof. Floriano Carlos Martins Pires Junior, D.Sc.

Prof. Márcio de Almeida D'Agosto, D.Sc.

Prof. Luiz Felipe Assis, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL
DEZEMBRO DE 2014

Prates Guimarães Petroianu, Larissa

Análise de Melhorias em um Estaleiro Típico Brasileiro Através de Princípios do Lean Production / Larissa Prates Guimarães Petroianu. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2014.

XII,78p.:il.; 29,7 cm.

Orientador: Floriano Carlos Martins Pires Junior

Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia Oceânica, 2014.

Referências Bibliográficas: p. 75-78.

1. Lean Manufacturing 2. Simulação Discreta 3. Competitividade. I. Pires Junior, Floriano Carlos Martins. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia Oceânica. III. Título.

“Mantenha a mente aberta, assim como a capacidade de se preocupar com a humanidade e a consciência de fazer parte dela.”

Dalai Lama

Dedico aos meus pais e meus avós que sempre me incentivaram e me ajudaram a ser uma pessoa cada vez melhor.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a COPPE/UFRJ pela oportunidade de realizar essa pesquisa e por proporcionar todas as condições necessárias

À Petrobras e ANP que através de seu programa de bolsas de estudo e pesquisa, PRH, deram-me condições e suporte para conseguir realizar meus estudos.

Ao pessoal do estaleiro pela liberdade, apoio e abertura para a pesquisa.

A meus pais e família por todo o suporte, apoio e amor.

Aos professores Floriano e Luiz Felipe por toda dedicação, orientação e auxílio, fundamentais nesta caminhada.

Aos professores Cláudio Baraúna, Raad Qassim e Jean David por todos ensinamentos.

À Andréa por ter sido minha fada madrinha em tantos momentos.

Ao professor Júlio Cyrino, Marcelo Igor e Denise Mina por sempre terem me ajudado nos processos do PRH.

Aos meus colegas e amigos da UFRJ que tanto me ajudaram neste processo, especialmente Emerson, Reyna, Sebastián, Rogério, Edson, Mauro, Diógenes, Felipe, Alexander, Everton e Juan.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

ANÁLISE DE MELHORIAS EM UM ESTALEIRO TÍPICO BRASILEIRO
ATRAVÉS DE PRINCÍPIOS DO LEAN PRODUCTION

Larissa Prates Guimarães Petroianu

Dezembro/2014

Orientador: Floriano Carlos Martins Pires Junior

Programa: Engenharia Oceânica

Este trabalho mostra como o *Lean Manufacturing* pode auxiliar no processo de melhoria e reestruturação da indústria de construção naval brasileira que atualmente possui grande demanda, mas baixa capacidade de atendê-la e fraca competitividade.

O principal objetivo do *Lean* é o aumento de produtividade e redução de custos através da eliminação de operações desnecessárias, consideradas como desperdícios. O conceito já é utilizado em diferentes segmentos industriais e, apesar de ter sido desenvolvido para processos de produção seriada, com algumas adaptações, também tem se mostrado eficiente para outros tipos de indústria, como as orientadas ao objeto, caso da construção naval.

A dissertação analisa os benefícios que o *Lean Manufacturing* pode trazer para a melhoria de um processo de construção naval e como pode ser implementado, focando em um estudo de caso baseado em uma linha de construção de blocos planos em um estaleiro de médio porte. Três cenários foram simulados no software Arena, a situação encontrada, a mesma estabilizada e uma nova sugestão de reestrutura de linha. Através da simulação, seus resultados e possíveis benefícios foram mensurados.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M. Sc.)

ANALYSIS OF IMPROVEMENTS IN A TYPICAL BRAZILIAN SHIPYARD USING
LEAN PRODUCTION PRINCIPLES

Larissa Prates Guimarães Petroianu

December/2014

Advisor: Floriano Carlos Martins Pires Junior

Program: Ocean Engineering

This paper shows how Lean Manufacturing may assist in process improvement and restructuring of Brazilian shipbuilding that currently has high demand but low capacity to meet it and weak competitiveness.

The main goal of Lean is to increase productivity and reduce costs through the elimination of unnecessary operations, considered as waste. The concept is already used in different industrial segments and, despite having been developed for mass production processes, with some adaptations, it has also proven effectiveness in other types of industry, such as object-oriented, like shipbuilding.

The dissertation examines benefits that Lean Manufacturing can provide to shipbuilding's process improvement and how to implement them, focusing on a case study based on a line of block construction in a medium sized shipyard. Three scenarios were simulated in Arena software, the existing situation, the same stabilized and a new restructuration suggestion. Through simulation, its results and possible benefits were measured.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	1
2.	INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO NAVAL BRASILEIRA	3
2.1	HISTÓRICO	3
2.2	MERCADO ATUAL	10
2.3	PERSPECTIVAS FUTURAS	13
3.	PROCESSO DE CONSTRUÇÃO NAVAL.....	15
4.	LEAN MANUFACTURING / MANUFATURA ENXUTA / SISTEMA TOYOTA DE PRODUÇÃO.....	24
4.1	HISTÓRIA	24
4.2	SISTEMA TOYOTA	27
4.3	PRODUTOR ENXUTO.....	29
4.4	FERRAMENTAS	31
4.5	APLICAÇÕES SISTEMA TOYOTA.....	39
5.	LEAN SHIPBUILDING	42
6.	PROJETO	46
6.1	METODOLOGIA	47
6.2	ESCOPO DO TRABALHO	48
6.3	ESTALEIRO PESQUISADO	48
6.3.1	<i>Facilidades Industriais.....</i>	<i>49</i>
6.3.2	<i>Mapa do Fluxo de Valor.....</i>	<i>49</i>
6.3.3	<i>Problemas na linha</i>	<i>53</i>
6.3.4	<i>Situação sugerida.....</i>	<i>56</i>
7.	SIMULAÇÃO.....	59
7.1	CÁLCULO DOS DADOS	60
7.1.1	<i>Situação encontrada</i>	<i>60</i>
7.1.2	<i>Situação encontrada estabilizada - Lean</i>	<i>64</i>
7.1.3	<i>Situação sugerida.....</i>	<i>66</i>
7.2	RESULTADOS DA SIMULAÇÃO	70
7.2.1	<i>Situação encontrada</i>	<i>70</i>
7.2.2	<i>Situação encontrada estabilizada</i>	<i>71</i>
7.2.3	<i>Situação sugerida.....</i>	<i>72</i>
7.2.3	<i>Comparação das simulações.....</i>	<i>73</i>
8.	CONCLUSÃO	74
9.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	75

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 CONSTRUÇÃO NAVAL NO BRASIL	8
FIGURA 2 PRODUÇÃO DE ÓLEO, LNG E GN – BRASIL E INTERNACIONAL.....	11
FIGURA 3 EVOLUÇÃO DAS ENTREGAS DE NAVIOS – PRINCIPAIS CENTROS	13
FIGURA 4 EVOLUÇÃO DAS CARTEIRAS DE ENCOMENDAS DE NAVIOS – PRINCIPAIS CENTROS	14
FIGURA 5 LAYOUT DE ESTALEIRO ANTERIOR À SEGUNDA GUERRA MUNDIAL	17
FIGURA 6 LAYOUT DE ESTALEIRO ENTRE SEGUNDA GUERRA MUNDIAL E 1960	17
FIGURA 7 LAYOUT DE ESTALEIRO APÓS 1960 - 3ª GERAÇÃO	19
FIGURA 8 LAYOUT DE ESTALEIRO APÓS 1960 - 4ª GERAÇÃO	20
FIGURA 9 VISÃO GERAL DO SISTEMA TOYOTA DE PRODUÇÃO.....	26
FIGURA 10 FLUXO EM LOTE X FLUXO DE UMA PEÇA	43
FIGURA 11 FLUXO EM LOTE X FLUXO DE UMA PEÇA (PROCESSOS)	44
FIGURA 12 PROCESSOS QUE AGREGAM VALOR	45
FIGURA 13 METODOLOGIA	47
FIGURA 14 VSM DESCRITO	50
FIGURA 15 VSM ENCONTRADO	52
FIGURA 16 CONTAGEM DE PARADAS.....	53
FIGURA 17 VSM SUGERIDO	58
FIGURA 18 VSM SUGERIDO	67
FIGURA 19 ALTERAÇÕES NO PROCESSO	67
FIGURA 20 SITUAÇÃO ENCONTRADA	68
FIGURA 21 ALTERAÇÕES SUGERIDAS	68
FIGURA 22 SITUAÇÃO SUGERIDA	69
FIGURA 23 SIMULAÇÃO DA SITUAÇÃO ENCONTRADA	70
FIGURA 24 GRÁFICO DE CONVERGÊNCIA	71
FIGURA 25 SIMULAÇÃO DA SITUAÇÃO SUGERIDA	72

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 PRINCIPAIS PROJETOS APROVADOS PELO GEICON.....	4
TABELA 2 PRINCIPAIS ESTALEIROS - PRODUÇÃO E CARTEIRA 1959-96	9
TABELA 3 DEMANDAS DOS PROGRAMAS PETROBRAS E TRANSPETRO (1)	12
TABELA 4 DEMANDAS DOS PROGRAMAS PETROBRAS E TRANSPETRO (2)	12
TABELA 5 PROGRAMAÇÃO SEMANAL	61
TABELA 6 DIVISÃO DO TEMPO EM PROCESSOS.....	62
TABELA 7 TEMPO DE PARADAS.....	63
TABELA 8 DIVISÃO DO TEMPO EM PROCESSOS CONSIDERANDO AS PARADAS	63
TABELA 9 DISTRIBUIÇÕES UTILIZADAS PARA SIMULAÇÃO	64
TABELA 10 DIVISÃO DO TEMPO EM PROCESSOS CONSIDERANDO TEMPO OCIOSO	65
TABELA 11 DADOS DA SIMULAÇÃO EM UM PROCESSO ESTABILIZADO SEM ALTERAÇÃO DE LAYOUT..	66
TABELA 12 TEMPOS CALCULADOS	69

LISTA DE SIGLAS

- 5S** - Sentos de utilização, ordenação, limpeza, higiene ou saúde e autodisciplina
- AFRMM** - Adicional ao Frete para Renovação da Marinha Mercante
- BNDES** - Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
- CMM** - Comissão da Marinha Mercante
- COCICON** - Conselho Coordenador da Indústria de Construção Naval
- EBN** – Programa Empresas Brasileiras de Navegação
- FMM** - Fundo de Marinha Mercante
- GEICON** - Grupo Executivo da Indústria de Construção Naval
- GEIN** - Grupo Executivo da Indústria Naval
- GN** - Gás natural
- GT** – Tecnologia de grupo
- I PCN** - Primeiro Plano de Construção Naval (1971-74);
- II PCN** - Segundo Plano de Construção Naval (1974-79).
- JIT** - Just in time
- LNG** – Gás liquefeito natural
- NRSP** – National Shipbuilding Research Program - Programa Nacional de Pesquisa na Construção Naval
- PPCN** - Permanente de Construção Naval
- PROMEF** – Programa de Modernização e Expansão da Frota
- PROREFAM** – Programa de Renovação da Frota de Apoio Marítimo
- SINAVAL** - Sindicato Nacional da Indústria da Construção e Reparação Naval e Offshore
- SUNAMAM** - Superintendência Nacional de Marinha Mercante
- TPB** - Tonelada de Porte Bruto
- TPM** - Manutenção Produtiva Total
- TRMM** - Taxa de Renovação da Marinha Mercante
- VSM** – Value Stream Map - mapa de valor
- WIP** - work in process – estoque intermediário

GLOSSÁRIO

Buffer - área de armazenamento intermediária e temporária

Capital facilities - infraestrutura de fabricação

Feedback - retorno

Heijunka - nivelamento de produção

Job shop - processo sob demanda e customizado

Job order - Produção orientada à demanda

Job rotation - rodízio de funções

Lean Manufacturing – manufatura enxuta

Muda - desperdício

Offshore - afastado da costa

Outfitting - equipamento

Setup - ajuste do equipamento

Single setup - ajuste do equipamento com menos de 10 minuto

Takt time - tempo de ciclo

Trade off - troca

Value Stream Map - mapa do fluxo de valor

Warm-up - tempo para estabilizar o processo na simulação, antes da estatística

Work in process - estoque intermediário

1. INTRODUÇÃO

A indústria de construção naval brasileira passa por sua primeira oportunidade de recuperação desde a crise da década de 80. Grandes demandas de equipamentos *offshore* e embarcações do setor petrolífero, renovação da frota da Transpetro, investimentos em navegação por cabotagem contribuem para essa retomada, além de grandes incentivos governamentais.

No entanto, essa retomada da demanda e crescimento encontrou uma indústria que, devido à crise, não estava preparada adequadamente para recebê-la, com estaleiros ociosos, mão de obra insuficiente e despreparada. Além disso, há uma forte concorrência mundial, principalmente dos estaleiros asiáticos, que apresentam custos menores e maior produtividade.

Em consideração a esses motivos, é importante que a indústria de construção naval brasileira busque novas formas para melhorar sua produção, estruturar seus processos e, conseqüentemente, sua produtividade, a fim de atender a grande demanda atual e futura.

O *Lean Manufacturing* ou Sistema de Produção Enxuta ou Sistema Toyota é uma maneira ou metodologia de trabalho que pode auxiliar nesse processo de melhoria e reestruturação. Seu principal objetivo é o aumento de produtividade e redução de custos através da eliminação de operações desnecessárias, consideradas como desperdícios. Ele já foi testado e implementado em diferentes segmentos industriais e, apesar de ter sido desenvolvido para processos de produção seriada, com algumas adaptações também tem se mostrado adequado para outros tipos de indústria, como as orientadas ao objeto, por exemplo, aeronáutica e naval.

Esse trabalho consiste em avaliar os benefícios que o *Lean Manufacturing* pode trazer para a melhoria de um processo de construção naval e como pode ser implementado, focando em uma linha de construção de blocos retos, baseada em um estaleiro real.

Foram utilizados como base os dados de um estaleiro típico brasileiro obtidos em visitas de campo e programações. Como houve dificuldades de cálculos destas informações, não se pode dizer que é um cenário com dados reais, e sim aproximado.

Estas informações foram utilizadas no software Arena de simulação discreta para modelar o cenário existente e criar um novo, com as possíveis melhorias levantadas e benefícios quantificados.

O trabalho está dividido em oito capítulos, considerando a introdução como o primeiro. O segundo apresenta um histórico da indústria naval brasileira, como foi a atuação do governo e as demandas ao longo da história. Em seguida mostra a demanda atual resultante, principalmente, do mercado de óleo e gás, finalizando com as perspectivas de mercado futura.

O terceiro capítulo discorre a respeito do processo de construção naval, suas características, avanços ao longo do tempo, com foco no *layout* do estaleiro.

O quarto explica o conceito, características, ferramentas e aplicação da manufatura enxuta / *lean manufacturing*.

O capítulo cinco refere-se à aplicação do *lean manufacturing* na construção naval, chamado de *lean shipbuilding*.

O sexto capítulo discorre sobre o projeto em si, a metodologia, o escopo, características do estaleiro, desenho da linha, sugestões de melhoria e simulação, além da comparação dos resultados. O capítulo sete detalha a simulação realizada e seus resultados.

Para finalizar, o último capítulo resume-se a conclusão deste trabalho.

2. INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO NAVAL BRASILEIRA

2.1 HISTÓRICO

A construção naval brasileira começou em 1531, com a implantação de um pequeno estaleiro na Baía de Guanabara, Rio de Janeiro. Com a vinda da família real para o Brasil, em 1808, o setor foi incentivado com a instalação de carpinteiros portugueses na costa brasileira. No século XIX houve o início da construção metálica e da propulsão mecânica na Inglaterra, melhorias incorporadas pelo Arsenal da Marinha e pelo estaleiro do Barão de Mauá (fundado em 1846) no mesmo período.

As Oficinas de Fundição e Construção Naval, estaleiro do Barão de Mauá, foi o mais importante estabelecimento fabril privado do império. Em onze anos entregou 72 navios e empregou cerca de 1.000 funcionários. Sua decadência começou em 1860, quando a política protecionista existente foi alterada por uma reforma tributária, o que facilitou a importação de produtos industrializados, além da abertura da navegação de cabotagem a navios estrangeiros. Após a utilização do estaleiro para fabricação de cerca de um terço das embarcações da Guerra do Paraguai, sem remuneração, o estaleiro foi fechado. No final do século XIX, por motivos políticos e estratégicos, o Arsenal do Rio de Janeiro era o único centro de construção naval mantido. Entre o início do século XX até o final da década de 50, a construção naval brasileira teve poucas iniciativas e pode ser considerada praticamente inexistente.

As políticas de construção naval e de transporte marítimos foram estabelecidas efetivamente a partir do final da década de 50, durante o governo Kubitschek, considerando a integração dos dois setores, atribuídos sempre às mesmas instituições. O marco foi a Lei nº 3.381, de 24/04/58, que criou o Fundo de Marinha Mercante (FMM) e a Taxa de Renovação da Marinha Mercante (TRMM). A Comissão da Marinha Mercante (CMM) também foi reestruturada nesta época.

Em 1958, com objetivo de estimular a indústria de construção naval, foi criado o Grupo Executivo da Indústria de Construção Naval (GEICON). Sua responsabilidade era:

- “Estudar, propor e estabelecer as normas e os critérios gerais a serem observados pelos diversos órgãos governamentais, para a execução das metas da construção naval;
- Estudar, coordenar, aprovar e propor as medidas necessárias à realização dos projetos de estaleiros de construção naval, previstos nas metas estabelecidas pelo governo.” (GEIPOT, 1996)

Em um ano, o GEICON aprovou dez projetos de ampliação ou instalação de estaleiros de construção e reparos navais privados, repassando recursos do Fundo da Marinha Mercante (FMM) que, desde sua criação, foi a principal fonte de financiamento aos armadores para aquisição de navios no Brasil e no exterior. A tabela 1 possui os principais projetos aprovados pelo GEICON.

Tabela 1 Principais projetos aprovados pelo GEICON

ESTABELECIMENTO	CAPACIDADE (TPB/ANO)	ENCOMENDAS (Nº DE NAVIOS X TPB)
CCN (RJ)	25.000	4 x 1.550
Ishikawajima (RJ)	60.000	1 x 5.600
EMAQ (RJ)	8.000	5 x 5.600
Verolme (RJ)	40.000	2 x 2.550
Estaleiro Só (RS)	5.000	1 x 2.200
Caneco (RJ)	2.000	1 x 2.200

Fonte: GEIPOT (1999)

Nos anos seguintes o GEICON foi substituído pelo Conselho Coordenador da Indústria de Construção Naval (COCICON) e posteriormente pelo Grupo Executivo da Indústria Naval (GEIN). Eles tiveram suas estruturas e subordinação modificadas, mas o objetivo mantido, exceto o último, GEIN, que acrescentou também o desenvolvimento do setor de reparos e indústrias complementares.

Em 1969 a CMM transformou-se na Superintendência Nacional de Marinha Mercante (SUNAMAM), subordinada ao Ministério dos Transportes e se tornou o principal órgão governamental do setor marítimo. Ela era responsável pelo planejamento

da frota brasileira, controle de rotas, comércio de navios, afretamento e negociação com armadores e pelo AFRMM (Adicional ao Frete para Renovação da Marinha Mercante).

A indústria de construção naval, suportada pela SUNAMAM, pela legislação protecionista e pelos planos do governo teve uma forte fase de consolidação e expansão que durou de 1969 até o início da década de 80, chegando a ser o segundo parque mundial de construção naval, abaixo do Japão, em 1972. A proteção à construção naval deveu-se, principalmente, à reserva do mercado nacional para os estaleiros brasileiros, como será visto a seguir.

Os planos governamentais consistiam em metas de construção naval baseados nas perspectivas de comércio exterior e expansão da bandeira brasileira. Eles foram divididos em:

- Plano de Emergência de Construção Naval (1969-70);
- Primeiro Plano de Construção Naval (I PCN, 1971-74);
- Segundo Plano de Construção Naval (II PCN, 1974-79).

Os três planos serão detalhados a seguir.

Plano de Emergência

Previa a aquisição de 85 embarcações, 473.000 TPB:

- Importação de 10 liners de 12.000 TPB, convênio Brasil – Polônia, a serem construídos no estaleiro Gdansk;
- Construção de 24 liners de 12.000 TPB, distribuídos nos estaleiros Ishikawajima, Verolme e CCN;
- Construção de 11 pequenos cargueiros de 5.100 TPB, distribuídos nos estaleiros EMAQ, Caneco e Só;
- Construção de 40 pequenas embarcações com o total de 9.000 TPB, distribuídas nos estaleiros Estanave, Enasa, Aratu, Mac Laren, e outros.

As últimas construções foram entregues em 1972, (70.000 TPB que entraram no

I PCN).

I Plano de Construção Naval

O I PCN previa inicialmente encomendas que resultavam em 1,6 milhão de TPB, cerca de US\$ 1,2 bilhão em investimentos. Em 1972, acrescentou-se mais 20.000 TPB. Neste período, todos os principais estaleiros brasileiros funcionaram em plena capacidade e não houve exportação de navios.

Durante o I PCN, foram construídos cerca de 800.000 TPB, o restante foi incorporado ao II PCN.

II Plano de Construção Naval

Para o II PCN, foi definida a necessidade de aquisição de 4,8 milhões de TPB para navios de longo curso, 300.000 TPB para cabotagem e 200.000 TPB para navegação interior e portuária, resultando em 5,3 milhões de TPB, cerca de US\$ 2,8 bilhões. Além disso, ainda havia 1,3 milhão que foi herdado do I PCN.

Nele houve o acréscimo de 112 embarcações, 360.000 TPB, US\$ 550 milhões, além de quatro navios de 28.000 TPB e 340.000 TPB em petroleiros para a Petrobras. O montante resultante da II PCN foi US\$ 4,4 bilhões.

Entre 1976-80, foram produzidos cerca de 2,6 milhões de TPB e importados cerca de 90.000 TPB.

O II PCN teve muitos atrasos nas construções, o que contribuiu para a crise do setor. Esses atrasos aconteceram por inúmeros fatores como falta de interesse dos armadores de eliminá-los devido à depressão do mercado de transporte marítimo, falta de capacitação tecnológica e gerencial dos estaleiros, obras de expansão e problemas com o fornecimento de materiais e equipamentos nacionais (havia metas muito ambiciosas de nacionalização dos componentes).

O II PCN, apesar de ter sua conclusão programada para 1979, terminou em 1982 com várias obras inacabadas.

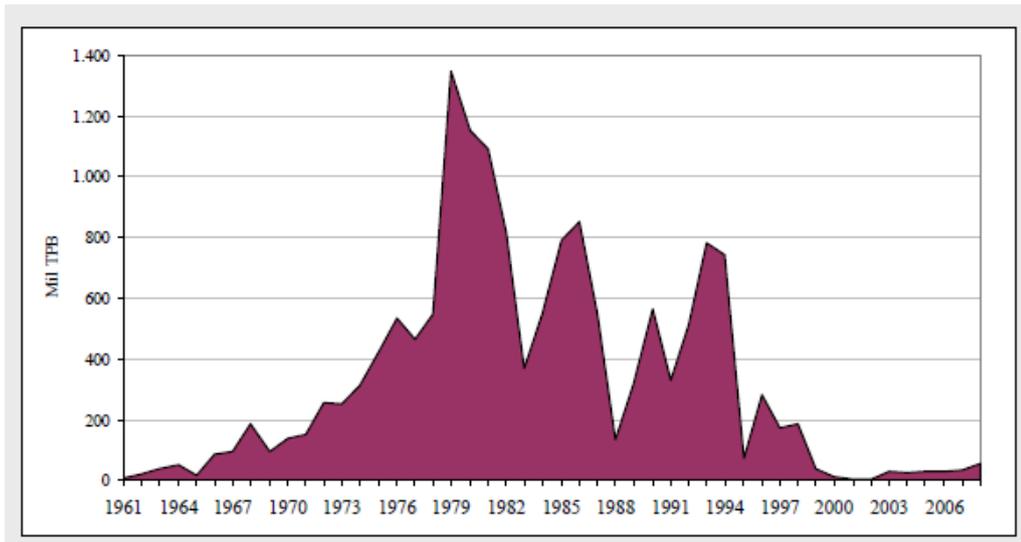
Após o II PCN, a SUNAMAN criou o Programa Permanente de Construção Naval (PPCN) que objetivava contratações por períodos mais curtos, sem prazo rígido e nem programa de construção predefinido.

O período de expansão do setor marítimo brasileiro terminou devido a problemas de planejamento e de gestão técnica e financeira do II PCN, em conjunto com as crises do setor marítimo mundial, crise do petróleo e da economia brasileira. Além disso, a desregulamentação da marinha mercante, na década de 80, quase eliminou a reserva de mercado, especialmente em relação à carga especial. Houve também diminuição da fiscalização e controle do governo sobre o transporte. O resultado foi a menor participação da bandeira brasileira.

Devido à crise, a partir da década de 80, a SUNAMAM e os órgãos que a sucederem perderam influência e a política de construção naval continuou vinculada à política de marinha mercante. Em 1989, a SUNAMAM foi extinta, e uma das causas foi o endividamento externo proveniente das elevadas taxas de juros.

Na fase atual, o BNDES possui grande influência no setor naval, com o papel de agente no processo de elaboração e execução de políticas de construção naval e de marinha mercante.

A figura 1 mostra os picos de produção durante os planos do governo e a tabela 2 mostra a produção e carteira dos principais estaleiros brasileiros no período de 1959-96. Nesta há um destaque para os períodos dos planos governamentais (Plano de Emergência, I PCN e II PCN).₂



Fonte: Sinaval (2010)

Figura 1 Construção naval no Brasil

Tabela 2 Principais estaleiros - produção e carteira 1959-96

(TPB)							
ANO	CONTRATOS	ENTREGAS	CARTEIRA	ANO	CONTRATOS	ENTREGAS	CARTEIRA
1959	6.200			1978	143.200	547.291	4.307.761
1960	65.455		71.655	1979	221.523	1.349.105	3.180.179
1961	44.825	8.900	107.580	1980	641.900	1.150.252	2.671.827
1962	107.420	21.000	194.000	1981	966.820	1.093.070	2.545.577
1963	36.700	40.250	190.450	1982	376.300	815.843	2.106.034
1964	103.350	53.140	240.660	1983	1.016.020	368.750	2.753.304
1965	116.850	15.700	341.810	1984		549.070	2.204.234
1966	20.800	88.660	273.950	1985	599.975	791.700	2.012.509
1967	438.500	93.800	618.650	1986	15.204	852.560	1.175.153
1968		184.940	433.710	1987	427.690	545.660	1.057.183
1969	32.384	95.610	370.484	1988	322.800	136.400	1.243.583
1970	277.320	136.950	510.854	1989	1.277.000	319.390	2.201.193
1971	1.224.200	152.942	1.582.112	1990		566.017	1.635.176
1972	214.600	257.142	1.539.570	1991	436.800	328.912	1.743.064
1973	384.700	251.920	1.672.350	1992	532.000	513.925	1.761.139
1974	2.963.702	311.150	4.324.902	1993	453.000	783.275	1.430.864
1975	1.787.674	426.650	5.685.926	1994	282.900	742.450	971.314
1976		533.040	5.152.886	1995		71.900	899.414
1977	25.000	466.034	4.711.852	1996	56.820	284.100	672.134
				1959-96	15.619.632	14.947.498	--

Fonte: GEIPOT, 1999 (adaptado)

Segundo LIMA *et al.* (1998), o Brasil possuía um grande conjunto de encomendas e condições favoráveis à produção, comparáveis à Coréia, no entanto, enquanto esta manteve seu crescimento na indústria naval, o Brasil falhou e alguns dos motivos foram explicitados pelos autores:

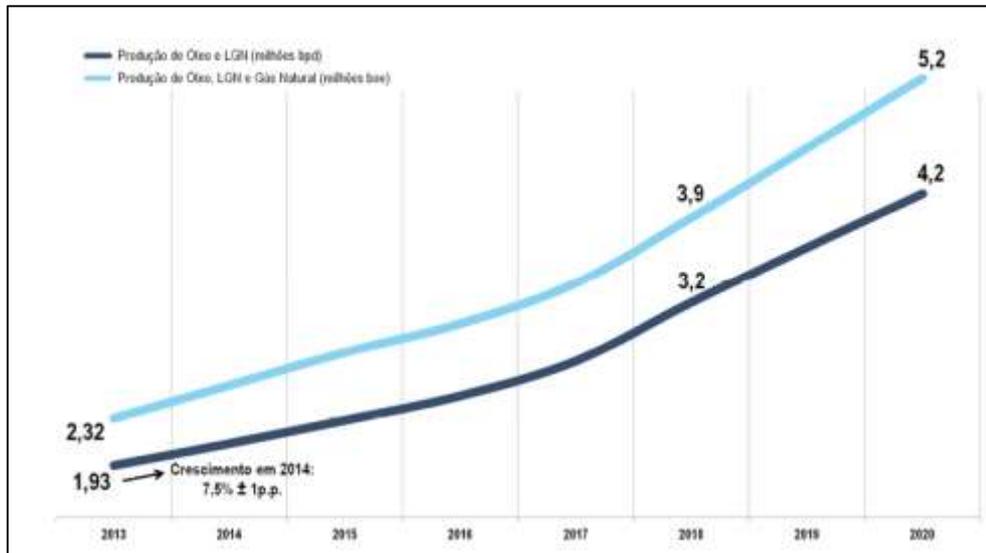
- Concessão indiscriminada de subsídios por longo tempo – mais de 20 anos, sem relação com produtividade;
- Atividades excessivamente direcionadas para o mercado interno, devido aos recursos AFRMM;
- Dependência de encomendas dos setores estatais, com muitas renegociações de prazos e preços;
- Ausência de mecanismos para controlar a relação comercial entre estaleiros e armadores privados;
- Instabilidade econômica e inflação elevada;
- Deficiências gerenciais das áreas administrativo-financeiras dos estaleiros;
- Intermittência das concessões dos órgãos responsáveis;
- Falta de confiabilidade em relação aos prazos de construção acordados.

Esses motivos além de prejudicar o crescimento da indústria de construção naval brasileira, prejudicaram sua performance, as operações apresentavam constantemente 30% de ociosidade.

Não cabe a esse trabalho julgar os motivos de falhas explicitados pelos autores acima, mas buscar maneira de amenizar aquelas ligadas à operação, como falta de confiabilidade nos prazos acordados e a grande ociosidade.

2.2 MERCADO ATUAL

Hoje a indústria naval passa pela primeira oportunidade de recuperação desde a crise da década de 80 justificada, principalmente, pela demanda do setor petrolífero por equipamentos *offshore* e embarcações, pela renovação da frota da Transpetro, além do crescimento da navegação por cabotagem. Este crescimento de demanda é justificado pela expectativa de crescimento na extração de óleo e gás natural, conforme figura 2.



Fonte: PETROBRAS (2014)

Figura 2 Produção de óleo, LNG e GN – Brasil e Internacional

Para a renovação de sua frota, a Transpetro lançou o PROMEF – Programa de Modernização e Expansão da Frota, com a demanda de 49 embarcações. Já a Petrobras, além da demanda para atender a demanda do Pré-Sal, lançou o PROREFAM – Programa de Renovação da Frota de Apoio Marítimo, implantado em 1999, que se encontra em sua terceira etapa, e o EBN – Programa Empresas Brasileiras de Navegação, que foca em embarcações para afretamento. As demandas destes programas podem ser vistas nas tabelas 3 e 4.

Tabela 3 Demandas dos programas Petrobras e Transpetro (1)

Navios			
Demanda*	% CL	QTD	TIPO
Promef I	65	10	SUEZMAX
		5	AFRAMAX
		4	PANAMAX
		4	CLEAN PC 45K
Promef II	70	4	SUEZMAX DP
		3	AFRAMAX DP
		3	CLEAN PC 45K
		2	CLEAN PC 30K
		2	DABK PC
		2	LPG400
		2	LPG12000
		3	BUNKER
		4	LPG 7000
		EBN	ND
3	Clean Pc 45~50k		
2	Petroleum and DPP 30~35k		
2	Clean Pc 30~35k		
6	Bunker		
3	LPG 4500		
PRÉ-SAL (PETROBRAS/Rio Grande)	ND	0	FPSO
NOROIL/EAS	ND	2	VLCC
TOTAL	-	78	

Fonte: SINAVAL (2010)

Tabela 4 Demandas dos programas Petrobras e Transpetro (2)

EXPECTATIVA DE DEMANDA FUTURA			
DEMANDA*	%CL	QTD	TIPO
PRÉ-SAL	-	-	FPSO
	-	-	SHUTTLE TANKERS
	-	-	OSV'S
	-	-	OIL RIGS
Promef III	-	20	TANKERS
Promef IV	-	20	TANKERS
Promef V	-	20	TANKERS
Prorefam III-2 Lote	-	22	OSV'S
Prorefam III-3 Lote	-	20	OSV'S
Prorefam III-4 Lote	-	20	OSV'S
Prorefam III-5 Lote	-	20	OSV'S
Prorefam III-6 Lote	-	20	OSV'S
Prorefam III-7 Lote	-	20	OSV'S
TOTAL		182	

Fonte: SINAVAL (2010)

Segundo a SINAVAL, o número de pessoas empregadas no setor de construção naval aumentou de 2 mil no ano 2000 para mais de 56 mil em 2010 e os financiamentos do Fundo da Marinha Mercante cresceram de R\$ 300 milhões (2001) para R\$ 2,4 bilhões (2009).

2.3 PERSPECTIVAS FUTURAS

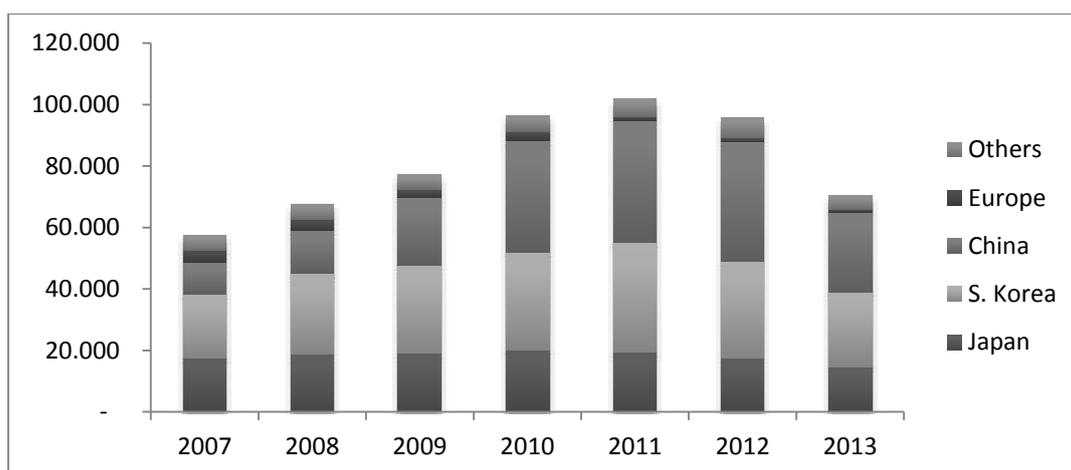
Analistas e investidores ocidentais se demonstram preocupados com a predominância dos estaleiros asiáticos, com custos mais baixos e maior produtividade, uma vez que estes se especializaram em navios padronizados.

O mercado de embarcações adaptadas às necessidades dos clientes, cuja demanda é menor e os preços maiores, ainda é atendido pelos ocidentais, principalmente europeus.

Hoje, a China, Coréia do Sul e Japão, representam os maiores países construtores. Em janeiro, 2012, eles entregaram 92,5% das encomendas mundiais, 184 embarcações. Destas, a China entregou 105 (52,8%), ela tem alcançado o primeiro lugar em carteira de encomendas desde 2009.

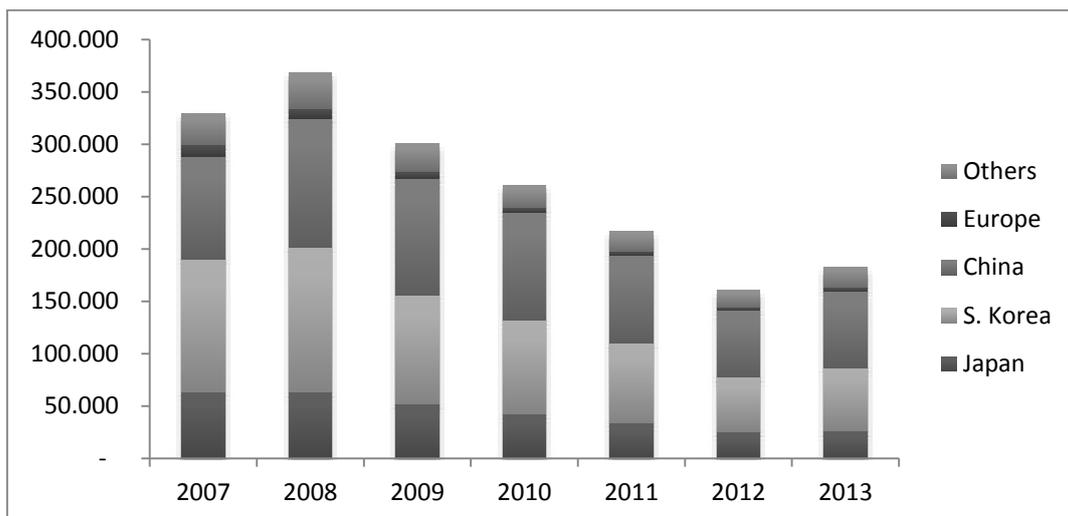
No final de 2013, de acordo com estudo da União Europeia, a China possuía 38% das demandas em carteira, a Coréia do Sul, 31% e o Japão, 13%.

As figuras 3 e 4 mostram a rápida evolução das entregas e carteira dos estaleiros chineses, em relação aos principais centros mundiais.



Fonte: The Shipbuilders' Association of Japan (2014)

Figura 3 Evolução das entregas de navios – principais centros



Fonte: The Shipbuilders' Association of Japan (2014)

Figura 4 Evolução das carteiras de encomendas de navios – principais centros

Devido à crise econômica de 2009, as encomendas diminuíram. Parte das carteiras dos estaleiros, foi feita em 2006-2008, antes da crise. Antes havia uma média de contratações anuais de 4.178 embarcações, enquanto, entre 2009 e 2011, a média anual caiu para 1.613.

O ano de 2013 começou a apresentar uma melhora, mas ainda aquém dos patamares pré-crise e focado na Ásia. Este cenário provoca maior concorrência entre os estaleiros que deverão estar preparados para atender as demandas ainda existentes com os melhores prazos e custos.

3. PROCESSO DE CONSTRUÇÃO NAVAL

Ao longo de sua história, a indústria de construção naval sempre adaptou suas técnicas aos projetos de embarcação, materiais, mercados e métodos de construção que surgiram. Ela era muito dependente da mão de obra existente e de sua qualificação, havia pouca tecnologia e pouco planejamento do início da construção. À medida que os projetos foram se tornando mais complexos e específicos, houve a necessidade de um melhor planejamento e projetos; no entanto, a mão de obra especializada não perdeu importância. Assim como suas técnicas, a tecnologia também teve que acompanhar a evolução e a construção naval se dividiu em especialidades como construção de cascos, maquinário, *outfitting* e pintura. Desenvolvimento das técnicas de produção em massa e soldagem também impactaram seu processo.

No final dos anos 60 e 70, os construtores navais continuaram a tentar aplicar produção em massa e técnicas de linha de montagem. Desde então, uma nova abordagem para construção naval surgiu e tem se mostrado melhor em relação às condições técnicas e econômicas da indústria.

Hoje não há um layout típico de estaleiro, parte porque estes foram construídos inicialmente no século XIX e início do XX e cresceram de acordo com a viabilidade da área e acesso ao mar, como resposta às necessidades de produção (STORCH *et al.*, 1995).

Apesar de não haver um layout típico, há algumas características principais presentes na estrutura de um estaleiro:

- Área para montagem da embarcação com meios para lançá-la ao mar
- Píer para os últimos detalhes na construção do navio após o lançamento
- Oficinas para diferentes tipos de trabalhos como:
 - Conformação do aço
 - Montagem do aço
 - Tubulação
 - Laminação
 - Maquinário
 - Equipamentos elétricos

- Estoque
- Escritórios e áreas de apoio.

De acordo com STORCH *et al.* (1995), através da década de 70 os layouts dos estaleiros buscavam responder aos avanços de tecnologia e requisitos de novos tipos e maiores tamanhos de navios. As mudanças nos estaleiros ocorriam gradativamente e como muitos possuíam mais de um século (considera-se aqui o cenário mundial), foram estendidos e revisados com pouca oportunidade de passar por um redesenho completo.

Os layouts dos estaleiros podem ser divididos em três períodos distintos:

- 1) Antes da Segunda Guerra Mundial
- 2) Segunda Guerra Mundial a 1960
- 3) De 1960 até o presente

Entre os dois primeiros períodos houve a mudança de rebite para solda (1930s), já na mudança entre o segundo e o terceiro, apareceram as técnicas de fluxo de linha.

Período anterior à Segunda Guerra Mundial

Período correspondente a um trabalho mais manual ou *job shop*. Os estaleiros possuíam capacidade de estoque, área e içamento limitados. A maioria dos componentes do navio era montada nele ou imediatamente adjacente ao seu caminho. Havia necessidade de mão de obra extremamente capacitada. A primeira geração de estaleiros era caracterizada por layout longo e estreito com trabalho concentrado ao redor do caminho do navio e equipamentos no cais, como pode ser visto na figura 7.

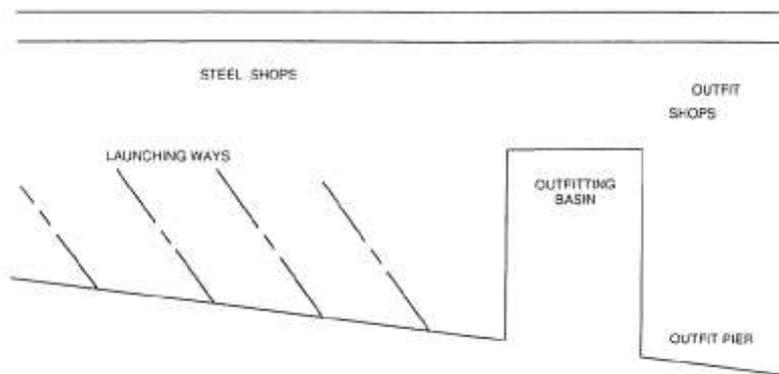


Fig. 5-2 First-generation shipyard layout

Fonte: Storch et al. (1995) - p161

Figura 5 Layout de estaleiro anterior à Segunda Guerra Mundial

Período da Segunda Guerra Mundial até 1960

Este período foi caracterizado por adoção de pré-fabricação de soldagem fora do caminho do navio e o desenvolvimento de uma tecnologia mais avançada e acurada para corte de chapa e soldagem.

As seções de navios eram construídas em oficinas e transportadas para a área onde seriam montadas (figura 8). As áreas de trabalho eram definidas, mas com certa flexibilidade e havia necessidade de uma programação e planejamento mais complexos. Em relação às oficinas, flexibilidade e capacitação requeridas eram menores e pré-requisitos em precisão eram maiores.

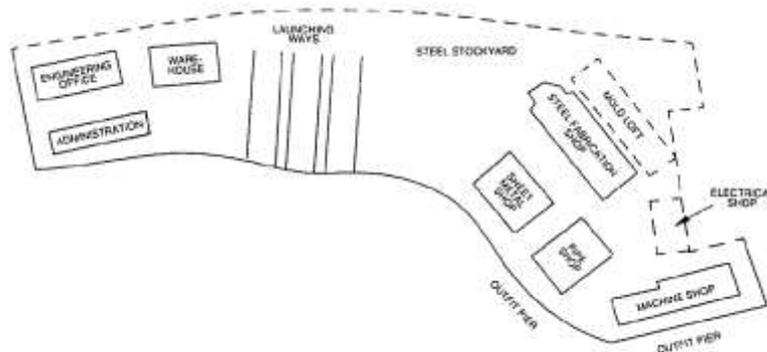


Fig. 5-3 Second-generation shipyard layout

Fonte: Storch et al. (1995)

Figura 6 Layout de estaleiro entre Segunda Guerra Mundial e 1960

1960 até o presente

A construção naval, nos anos 60 e 70, particularmente influenciada pelos tipos de navios especializados, direcionou-se para produção em série. Estaleiros europeus e alguns americanos começaram a modificar suas áreas para acomodar a produção em massa. As estações de trabalho eram claramente definidas e fixadas. Alta tecnologia foi introduzida na fabricação de aço e transporte. A programação era complexa e o planejamento caracterizado em olhar as previsões das estações de trabalho. Para produção eficiente, os estaleiros necessitavam de produtos padronizados e altas taxas de transferência.

A tendência de menor comprimento dos estaleiros para maior profundidade começou entre a primeira e segunda gerações e continuou para a terceira.

A construção modular e o requisito para painéis pré-fabricados aumentaram a capacidade das linhas de painéis, além do desenvolvimento de sistemas semiautomáticos, com alta capacidade, de soldagem.

A figura 9 mostra um exemplo de estaleiro de terceira geração.

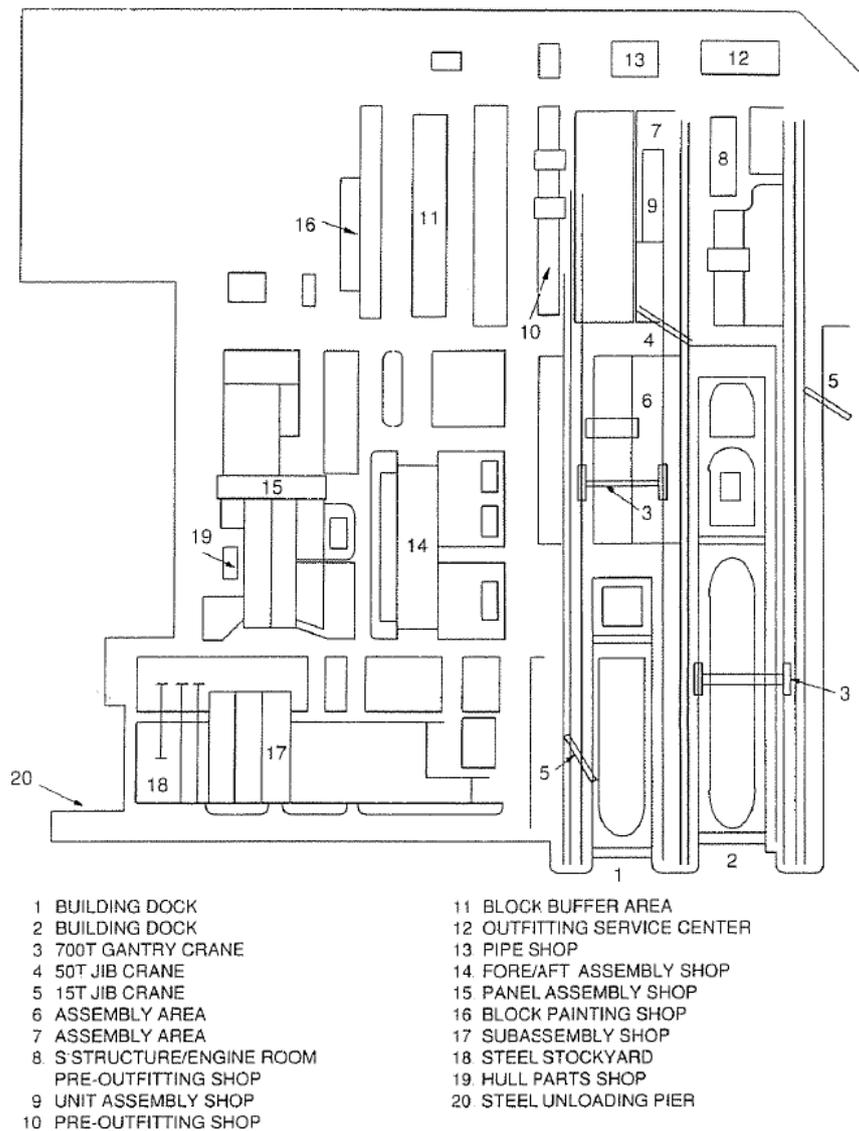


Fig 5-7 Third-generation shipyard layout

Fonte: Storch et al. (1995)

Figura 7 Layout de estaleiro após 1960 - 3ª geração

Há também a quarta geração de estaleiros (figura 10), desenvolvida em paralelo com a terceira geração descrita acima, que melhorou sua gestão usando a tecnologia existente. Esta geração incorporou os princípios da tecnologia de grupo, que será explicada a seguir, e é caracterizada por grande flexibilidade de planejamento e requisitos de taxa. A produção é sincronizada para minimizar o estoque intermediário e demandas de transporte. O tamanho do bloco é otimizado para acomodar a zona de *outfitting* e

facilitar a montagem para manter o balanceamento do fluxo de trabalho.

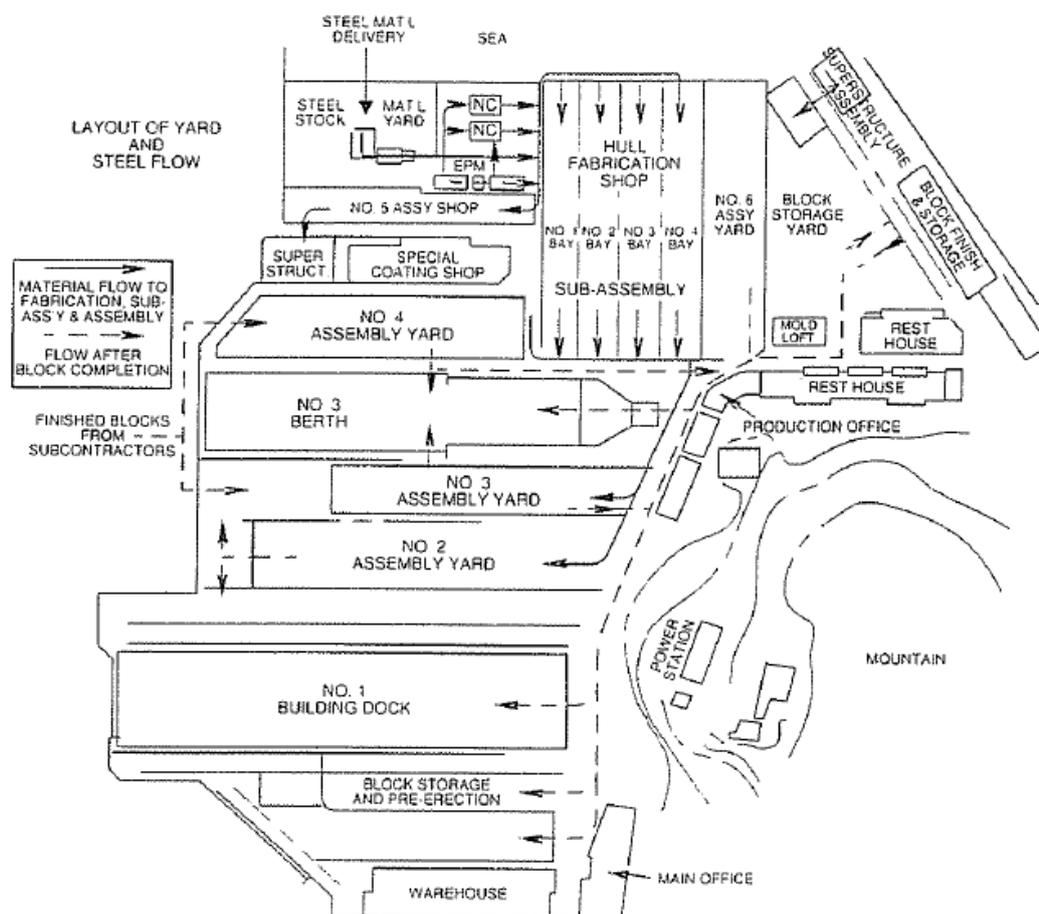


Fig 5-8 Fourth-generation shipyard layout

Fonte: Storch et al. (1995) - p191

Figura 8 Layout de estaleiro após 1960 - 4ª geração

O fator mais importante em relação ao aspecto interno do layout do estaleiro é analisar todo o seu sistema. Assim que sua capacidade for determinada, baseada na análise de mercado, seu tamanho deve ser definido de acordo. Para os objetivos do layout do estaleiro devem ser considerados:

- Otimização de material e estoque WIP;
- Minimização de *buffer* consistente com um fluxo uniforme no estaleiro;
- Diminuição de carregamentos / transportes e redução da distância de material e produtos intermediários a serem transportados.

Alguns estaleiros, com layouts adaptados, são especializados em tipos pré-determinados de embarcações para ganhar competitividade em mercados específicos de construção naval. Fabricação em série de uma linha de produto limitada resulta em menores preços e queda no tempo de construção.

Para organizar o trabalho, há aplicação de tecnologia de grupo (*group technology* - GT), que também é chamada de manufatura celular, onde certa quantidade de máquinas é agrupada na célula e os operadores são treinados para trabalhar com todas. Há uma redução no número de peças, de operações e no tamanho de lotes. O maior objetivo do GT é a redução do estoque em processo para somente o necessário. Um de seus resultados adicionais é o aumento da satisfação da mão-de-obra: os trabalhadores passam a ver produtos terminados e a programação de produção é mais estável, com pouco tempo ocioso, aumentando a moral e a produtividade.

O processo de construção de um navio é complexo e por isso há várias particularidades ao se considerar a taxa de produção de um estaleiro. Primeiro, ao se considerar o resultado do processo, não se deve considerar o navio completo, e sim a porcentagem feita deste. A taxa de produção no tempo depende do nível de mão de obra e infraestrutura para fabricação (“*capital facilities*”).

A produtividade por unidade de tempo de um trabalhador depende de vários fatores como:

- Sequência numérica da embarcação (há maior aprendizado se mais de uma embarcação do mesmo tipo for feita no estaleiro);
- Número de trabalhadores (nível de mão de obra);
- Taxa do tempo de mudança no número de trabalhadores;
- Duração do dia de trabalho;
- Nível de habilidades dos trabalhadores.

Existe também a curva de experiência que é aplicada para a relação observada entre custos e experiência acumulada. Ela indica que o custo médio de todas as unidades produzidas diminui a uma taxa constante em função da experiência acumulada. A pessoa

aprende a fazer as tarefas de uma maneira melhor e mais eficiente, assim que se torna mais experiente.

A maior causa de baixa produtividade (causadora de altos custos) na construção de navios é a mudança não antecipada da taxa de produção. Entregas atrasadas de materiais, planejamento, especificações ou subconjuntos podem causar gargalos no processo produtivo. Se falta alguma dessas entradas quando o trabalho é programado, o construtor terá que atrasar o trabalho e outros processos relacionados, alterando a programação. Deste modo, o gerenciamento de grandes projetos industriais requer o uso de técnicas relativas ao planejamento, programação e controle de produção. A produtividade do projeto depende da coordenação de matéria-prima, mão de obra, área fabril, capital e informação. O gerenciamento desses recursos é a chave para uma produção eficiente.

A fase de planejamento é a listagem de todas as tarefas que devem ser executadas para completar o projeto. Como parte do planejamento, as ordens dos trabalhos como os materiais, mão de obra e instalações devem ser determinadas. Custos e duração dos serviços também devem ser estimados como parte do processo de planejamento.

Planejamento em um estaleiro pode ser visto em duas perspectivas: o estaleiro total e a construção individual ou trabalhos de reparo. A visão geral do estaleiro é, essencialmente, a soma de todos os projetos individuais, mas envolve considerações em longo prazo, incluindo previsão de mercado, volume de trabalho, pessoal e de melhorias nas instalações. Por outro lado, a perspectiva da construção individual começa com o desenvolvimento de uma estratégia de construção e depois segue para um maior nível de detalhamento para projetos específicos.

O mais importante do planejamento é simplificar o trabalho o tanto quanto for possível. Para aumentar a produtividade, toda oportunidade de deslocar o trabalho para os estágios iniciais de manufatura deve ser explorada, pois são mais fáceis e seguros para performance.

A programação é a definição da ordem na qual as tarefas devem ser executadas para completar o projeto. Materiais e pessoas necessários para cada estágio da produção, assim como os tempos iniciais e finais para cada tarefa são determinados. Já o controle de produção é o monitoramento da diferença entre a performance real e a programada. O controle da precisão do processo (acurácia) não pode ser confundido com garantia de qualidade. Ele seria uma regulamentação da precisão a fim de obter o máximo de produtividade e envolve um “*trade off*” entre melhor precisão e os custos para alcançá-la. Como dito anteriormente, todo este gerenciamento citado é fundamental para garantir uma boa produtividade.

4. LEAN MANUFACTURING / MANUFATURA ENXUTA / SISTEMA TOYOTA DE PRODUÇÃO

4.1 HISTÓRIA

O Sistema Toyota de Produção surgiu para que a indústria automotiva japonesa fosse competitiva com a ocidental após a Segunda Guerra Mundial.

Segundo DENNIS (2008), a Toyota estava em crise, enfrentando a bancarrota, então seu presidente, Kiichiro Toyoda propôs demitir um quarto da mão de obra. Após negociações entre a família e o sindicato, chegaram ao seguinte acordo:

- 1) Um quarto da mão de obra seria dispensado.
- 2) O presidente assumiria o fracasso e renunciaria ao cargo.
- 3) Os demais funcionários teriam a garantia de emprego vitalício e pagamento vinculado à senioridade e lucratividade da empresa.

Os funcionários também receberam acesso às instalações da Toyota, incluindo moradia, recreação e outros benefícios, concordaram em ser flexíveis em relação às funções no trabalho e a apoiar os interesses na empresa, buscando melhorias. Dessa maneira, foi criada a “comunidade Toyota”. Com essas mudanças, os funcionários se sentiram mais seguros em relação à empresa e preparados para buscar a redução de desperdício objetivada pelo Sistema Toyota. “Um ciclo virtuoso surgiu: quanto mais *muda* (desperdício) eliminávamos, maior era a demanda por nossos produtos. Quanto maior a demanda, mais nos beneficiávamos (e mais envolvimento era exigido).” (DENNIS, 2008). Para Taiichi Ohno, diretor da Toyota, o trabalhador era seu recurso mais valioso. Ele e sua equipe desenvolveram atividades para envolver os membros da equipe em melhorias de forma total, uma ideia absolutamente inovadora.

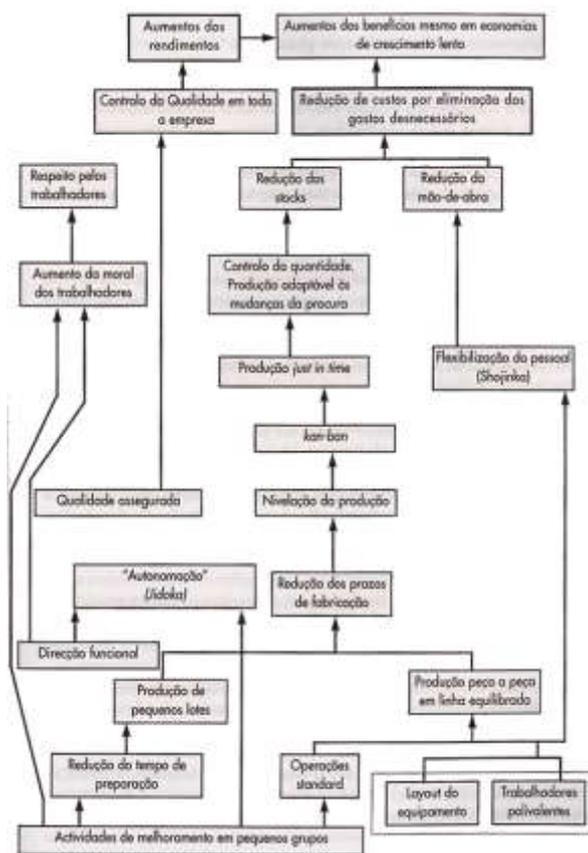
O sistema Toyota de produção foi adotado por inúmeras empresas japonesas após o choque do petróleo em 1973, com o propósito principal de reduzir custos, aumentar a razão do retorno do capital e melhorar a produtividade. Para se alcançar a redução de custos, três subobjetivos também foram importantes e fundamentais (MONDEN, 1983):

- 1) Controle de qualidade – permite ao sistema adaptar às flutuações de demanda diárias e mensais em relação à quantidade e variedade.
- 2) Garantia da qualidade – garante que cada processo fornecerá somente boas unidades para a seguinte etapa.
- 3) Respeito pelo ser humano – deve ser cultivado uma vez que o sistema utiliza recursos humanos / pessoas para obter redução de custo.

Os principais objetivos do Sistema Toyota eram o aumento da produtividade e redução de custos através da eliminação de operações desnecessárias, ou seja, desperdícios.

A figura 11 representa uma visão geral do sistema Toyota de produção, com as entradas necessárias para se alcançar os resultados de custo, qualidade e recursos humanos.

Nela, pode-se perceber que o fluxo de produção contínuo, flexibilidade, é alcançado através da “autonomação” (controle autônomo de falhas) e *Just-in-time*.



Fonte: http://www.crcvirtual.org/vfs/old_crcv/biblioteca/humanofactura/cap_3.html

Figura 9 Visão geral do sistema Toyota de produção

Outros conceitos chave para o sistema Toyota de produção, também observados na figura acima, são força de trabalho flexível (variar o número de trabalhadores de acordo com a demanda) e pensamento criativo ou capitalização das sugestões dos trabalhadores.

Para cumprir esses conceitos, Toyota estabeleceu os seguintes sistemas e métodos (MONDEN, 1983):

- 1) Sistema *Kanban* para manter produção *Just in time*;
- 2) Método de balanceamento da produção para adaptar às mudanças de demanda;
- 3) Diminuição do tempo de setup para reduzir o *lead time* da produção;
- 4) Padronização das operações para obter o balanceamento de linha;

- 5) Layout das máquinas e trabalhadores multifuncionais para o conceito de força de trabalho flexível;
- 6) Pequenos grupos de melhoria das atividades e sistemas de sugestões para diminuir a força de trabalho e aumentar a moral dos trabalhadores;
- 7) Sistema de controle visual para alcançar o conceito de autonomia;
- 8) Sistema de gestão funcional para promover o controle de qualidade da empresa.

Por ter sido desenvolvido pela Toyota, pode ser chamado de Sistema Toyota de Produção, já o nome *Lean Manufacturing* surgiu no livro “A Máquina que Mudou o Mundo” (WOMACK *et al.*, 1989), nele os autores analisam a utilização do Sistema de Produção Enxuta em diferentes montadoras automotivas de diferentes países.

4.2 SISTEMA TOYOTA

No mercado automotivo, escuta-se que o mundo se defronta com uma crise de supercapacidade, estimada (em 1992), por alguns executivos da indústria, em 8 milhões de unidades a mais que as vendas correntes em todo o mundo, de cerca de 50 milhões de unidades. No entanto, há imensa carência de capacidade competitiva de produção enxuta e um excesso de capacidade não-competitiva de produção em massa. A crise, na verdade, decorre da ameaça que a primeira representa para a segunda. (WOMACK *et al.*, 1992)

“A produção *Lean* representa fazer mais com menos – menos tempo, menos espaço, menos esforço humano, menos maquinaria, menos material – e, ao mesmo tempo, dar aos clientes o que eles querem.” (DENNIS, 2008)

O principal propósito do sistema Toyota de produção é aumentar o lucro através da redução de custo. Esta pode ser possível através da eliminação do desperdício, especialmente reduzindo estoques desnecessários. Isso seria alcançado fornecendo produtos comercializáveis nas quantidades comercializáveis, uma situação de produção adaptada à demanda, eliminando excesso de estoques de produtos finalizados. Para o sistema Toyota, adaptar a produção para a variabilidade de demanda chama-se

balanceamento da produção. Com este balanceamento, a linha de produção não fica comprometida à fabricação de um único tipo de produto em grandes lotes, mas sim à produção de uma variedade de produtos em resposta à demanda do consumidor.

O sistema Toyota ataca *muda* (desperdício) através do envolvimento dos membros da equipe em atividades de melhoria padronizadas e compartilhadas. Desta maneira, quanto mais eles se envolvem, mais sucesso têm e maiores são as recompensas intrínsecas e extrínsecas, estimulando o maior envolvimento, algo cíclico.

Muda é uma palavra em japonês que significa desperdício, sendo oposto de valor (o que o cliente está disposto a pagar). Muda pode representar 95% nas operações e são oito tipos:

- 1) Movimento
- 2) Espera
- 3) Transporte
- 4) Correção
- 5) Excesso de processamento
- 6) Excesso de produção
- 7) Estoque
- 8) Conhecimento sem ligação / falta de comunicação

Este desperdício é uma das três categorias do movimento humano:

- Trabalho de fato – movimento que acrescenta valor ao produto;
- Trabalho auxiliar – movimento que dá valor apoio ao trabalho de fato;
- Muda – movimento que não cria qualquer valor. (DENNIS, 2008)

Procura-se melhorar o processo suprindo a demanda com o número mínimo de funcionários. Por outro lado, não há um número mínimo de equipamentos, normalmente a empresa possui muita capacidade de maquinário. Utilizam-se, para atender aumentos de demanda, funcionários temporários ou de outras linhas realocados.

Há uma busca pela redução do lead time de produção de qualquer produto que

consiste em três componentes: tempo de processo para fornecer o lote em cada etapa, tempo de espera entre os processos e tempo de transporte entre os processos.

4.3 PRODUTOR ENXUTO

Segundo WOMACK *et al.* (1992), o fabricante que utiliza a produção enxuta combina as vantagens das produções artesanal e em massa, evitando os altos custos da primeira e a rigidez da última. Com essa finalidade, emprega equipes de trabalhadores multiquificados em todos os níveis da organização, além de máquinas altamente flexíveis e automatizadas, para produzir grandes volumes e variedades de produtos.

“A produção enxuta é “enxuta” por utilizar menores quantidades de tudo em comparação com a produção em massa: metade do esforço dos operários na fábrica, metade do espaço para fabricação, metade do investimento em ferramentas, metade das horas de planejamento para desenvolver novos produtos em metade do tempo, requer também bem menos da metade dos estoques atuais no local de fabricação, além de resultar em bem menos defeitos e produzir uma maior e sempre crescente variedade de produtos.” (WOMACK *et al.*, 1992)

Os trabalhadores se mostram os grandes responsáveis pelo sucesso do Sistema Toyota, por isso, a maneira na qual foram organizados se mostrou de grande importância. Ohno os agrupou em equipes com um líder responsável, cada uma possuía um conjunto de tarefas em parte da linha de montagem para realizar da melhor maneira possível, inclusive o líder participava, não havia supervisores. Eram responsáveis pela limpeza e pequenos reparos de ferramentas, além do controle de qualidade. As equipes também tinham a tarefa de sugerir melhorias no processo, gerando um aperfeiçoamento contínuo e gradual (*kaizen* – melhoria contínua).

Para evitar retrabalho e produtos defeituosos, todos os trabalhadores possuíam a responsabilidade e liberdade para parar a linha de montagem quando surgisse um problema que não conseguissem acertar. Quando surgia um novo problema, era aplicada a técnica dos “5 Porquês” para encontrar a verdadeira causa e evitar que acontecesse

novamente. Essa técnica, no início, fez com que a linha parasse constantemente, mas, à medida que as causas dos problemas eram resolvidas, a quantidade de erros caiu significativamente, aproximando o rendimento a 100%. Ela consiste em perguntar a causa do problema, o "porquê", cinco vezes consecutivas, até alcançar o verdadeiro motivo.

“... a fábrica genuinamente enxuta possui duas características organizacionais fundamentais: *Transfere o máximo de tarefas e responsabilidades para os trabalhadores que realmente agregam valor ao carro, e possui um sistema de detecção de defeitos que rapidamente relaciona cada problema, uma vez descoberto, à sua derradeira causa.*” (WOMACK *et al.*, 1992).

Há uma necessidade de criar um senso de compromisso mútuo que é atingido quando a gerência valoriza os empregados qualificados, com esforço para mantê-los e delegando responsabilidades às equipes.

Ao realizar melhorias no trabalho, o respeito pelo ser humano pode ser mantido através das seguintes regras (MONDEN, 1983):

- Dar ao funcionário trabalhos de valor – ele deve perceber que através da eliminação do desperdício, seu tempo será utilizado em tarefas que agregam valor à produção e se ele sente que seu trabalho é importante e significativo, sua moral aumenta.
- Deixar as linhas de comunicação com a organização abertas – canais de comunicação entre os diferentes níveis da organização para resolver problemas são importantes para desenvolver uma relação de confiança e credibilidade, promovendo, assim, melhorias.

Segundo MONDEN (1983), quando há redução de demanda, os trabalhadores podem realizar as seguintes tarefas:

- Transferir trabalhadores para outras linhas;
- Diminuir horas extras;
- Encontros de círculos de controle de qualidade;
- Praticar ações de *setup*;

- Manutenção e reparo de equipamentos;
- Ferramentas e instrumentos de melhorias na produção;
- Reparar vazamentos de água na planta;
- Fabricar partes que foram compradas previamente dos fornecedores.

A relação com fornecedores também é importante no Sistema Toyota, por isso a empresa buscou uma maneira de colaboração entre montadoras e fornecedores para reduzir custos e melhorar a qualidade, independente do relacionamento legal e formal entre eles. Alguns fornecedores passaram a ter a liberdade para projetar as peças e em alguns casos havia compartilhamento de recursos humanos. Diminuiu a filosofia do “cada um por si” entre as empresas. “... preço, qualidade, confiabilidade da entrega e vigência do contrato tornam-se os quatro elementos-chave do relacionamento montadora - fornecedor.” (WOMACK *et al.*, 1992).

Para coordenar o fluxo de peças no sistema de suprimentos foi desenvolvido o sistema Just in Time, chamado na Toyota de *Kanban*. Nele a produção de peças se restringia à etapa prévia para suprir a necessidade imediata da etapa subsequente.

4.4 FERRAMENTAS

Para se garantir o bom funcionamento do Sistema Toyota, ferramentas e técnicas, como 5S, *Just in Time* (JIT), TPM, foram desenvolvidas, sendo fundamental compreendê-las.

“A estabilidade começa com gerenciamento visual e o sistema 5S. Os 5S dão suporte para o trabalho padronizado e a TPM, que são centrais para a estabilidade de método e de máquina, respectivamente.” Eles também dão suporte à produção JIT com informações práticas que facilitam a tomada de decisões. (DENNIS, 2008)

5S

O sistema 5S cria um local de trabalho visual, autoexplicativo, auto organizável e

auto melhorável. Além de focar na arrumação da área, envolve a redução do tempo de procura de objetos, padronização de locais de armazenagem, redução de desperdícios, motivação dos colaboradores e trabalho em equipe.

Ele foi criado no Japão e seu nome é devido às cinco palavras japonesas: *Seiri* (utilização), *Seiton* (ordenação), *Seiso* (limpeza), *Seiketsu* (higiene) e *Shitsuke* (autodisciplina).

Sendo estes cinco os conceitos básicos deste sistema, para que o nome faça sentido na língua portuguesa, foram denominados de:

- Senso de utilização
- Senso de ordenação
- Senso de limpeza
- Senso de higiene ou saúde
- Senso de autodisciplina

TPM

TPM, sigla em inglês para Manutenção Produtiva Total, atribui a função de manutenção básica à equipe de produção. São tarefas simples, como inspeção, limpeza, lubrificação e ajustes. Desta maneira, a equipe de manutenção pode focar na manutenção preventiva, melhorias e vistorias de equipamentos, treinamento e outras atividades com maior geração de valor. Através da TPM há uma meta de zero paradas no processo.

Para eficácia das máquinas, há três medidas centrais:

- Disponibilidade
- Eficiência de desempenho
- Eficácia geral de equipamento (OEE)

TPM envolve todos os membros de equipe na eliminação das seis grandes perdas que diminuem a eficiência de máquinas:

- 1) Avaria de equipamento;
- 2) Atraso na montagem e nos ajustes;
- 3) Tempo ocioso e pequenas paradas;
- 4) Velocidade reduzida;
- 5) Defeitos de processamento;
- 6) Rendimento reduzido.

- **Padronização**

A padronização do trabalho busca o jeito mais seguro, fácil e eficaz de realizar o trabalho em determinado momento.

O trabalho padronizado apresenta como benefícios (DENNIS, 2008):

- Estabilidade de processo;
- Pontos de início e parada claros para cada processo;
- Aprendizagem organizacional;
- Solução de auditorias e de problemas;
- Envolvimento do funcionário e *poka-yoke*;
- *Kaizen*;
- Treinamento.

As operações padrões são determinadas por:

- Determinar o tempo de ciclo;
- Determinar o tempo para completar cada unidade;
- Determinar as rotinas padrões de operação;
- Determinar a quantidade padrão de *WIP*;
- Preparar as fichas de operação padrão.

O trabalho padronizado ajuda a melhorar a eficiência que é o resultado da razão produção/mão de obra, reduzindo a mão de obra que pode ser redistribuída em outras tarefas.

MONDEN (1983) afirma que operações padronizadas buscam a produção usando o número mínimo de funcionários, sendo o primeiro objetivo das operações padronizadas alcançar alta produtividade através de trabalho árduo, o que não significa forçar os trabalhadores a trabalhar muito, mas sim eficientemente, sem desperdício nos movimentos. Para facilitar esse objetivo há a rotina de operações padronizadas que é uma padronização da ordem de várias operações que devem ser realizadas por cada trabalhador.

O segundo objetivo da padronização das operações do Sistema Toyota é alcançar o balanceamento de linha entre todos os processos em termos de tempo de produção. Neste caso, o conceito de tempo de ciclo deve ser construído dentro da padronização das operações.

O último objetivo é buscar uma quantidade mínima de “*work in process* - WIP” – estoque intermediário - qualificado como quantidade padrão de WIP, ou o número mínimo de unidades necessárias para que a padronização de operações seja realizada pelos trabalhadores, eliminando excesso de estoque.

Para alcançar esses três objetivos, padronização das operações consiste em tempo de ciclo, rotinas padronizadas de operações e quantidade padrão de WIP.

Além de contribuir para eficiência, a padronização também ajuda a evitar defeitos e acidentes, logo rotinas para checar segurança e qualidade dos produtos também são padronizadas.

Os componentes da padronização do trabalho são determinados, principalmente, pelo supervisor que determina quantas horas de cada máquina são necessárias para produzir uma unidade e também a ordem das operações. Ele sabe as performances de seus funcionários, conhece e entende bem os padrões. O supervisor deve saber treinar os funcionários nos padrões e explicar a importância destes.

Just in Time e Kanban

Segundo MONDEN (1983), Just in time pode ser descrito como a ideia de produzir as unidades necessárias, nas quantidades necessárias, no tempo necessário. Em uma linha de produção, significa que peças e subconjuntos chegarão à linha no momento e na quantidade precisos. Caso seja aplicado em toda empresa, estoques desnecessários serão eliminados completamente, reduzindo seus custos e aumentando o retorno sobre o capital.

Ele foi introduzido na década de 50 como reação a alguns problemas como (DENNIS, 2008):

- Mercados fragmentados que demandavam muitos produtos em volume baixo;
- Dura concorrência;
- Preços fixos ou em queda;
- Tecnologia que rapidamente mudava;
- Alto custo de capital;
- Trabalhadores capazes que exigiam maior nível de envolvimento.

Os componentes do sistema JIT são *kanban* e nivelamento de produção ou *heijunka*. Esses dois dependem de:

- Trocas rápidas de máquinas;
- Gerenciamento visual (5S);
- Processos capazes.

O tipo de unidades e quantidade necessários em um processo são escritos em um cartão chamado *kanban* que é enviado ao processo predecessor, conectando os dois e controlando melhor as demandas. É um sistema de produção puxado, nele uma etapa do processo acima só deve produzir bens ou serviços quando a seguinte tiver feito o pedido. Há o preenchimento da lacuna produzida através da retirada de um produto pelo cliente

Kanban é uma ferramenta visual utilizada para JIT. Geralmente é um cartão com

informações do produto ou peça e que autoriza produzir ou parar, enviando-o ao processo predecessor, conectando os dois e controlando melhor as demandas. Ele pode ser *kanban* de produção ou *kanban* de retirada.

O JIT / *kanban* possui seis regras:

- 1) Nunca faça expedição de itens com defeitos;
- 2) O cliente retira apenas o que é necessário;
- 3) Produza apenas a quantidade retirada pelo cliente;
- 4) Nivele a produção;
- 5) Use *kanban* para o ajuste fino de produção;
- 6) Estabilize e fortaleça o processo.

Quando o fabricante tem maior poder de barganha, ele pode instruir seus fornecedores a entregar suas peças através do sistema *Just in time*.

Mapeamento do Fluxo de Valor

O mapeamento do fluxo de valor (VSM – *Value Stream Map*) ajuda a entender a situação atual e a identificar oportunidades de melhoria, através do desenho de um mapa do processo total de fabricação. O fluxo de valor consiste em enxergar a combinação de processos necessários para levar o produto ou serviço ao cliente e não departamentos específicos. Ao descrever o estaleiro no estudado, será utilizado o mapeamento de fluxo de valor.

Jidoka e Poka-Yoke

Jidoka, ou “*automação*”, no sistema Toyota tem o significado de “automação com mente humana”, referindo-se a máquinas e trabalhadores inteligentes que identificam os erros e decidem por contramedidas rápidas. É criar processos livres de defeitos por constantemente fortalecer a capacidade do processo, a contenção e o *feedback*. Seria um controle automático de defeitos. Ele não é limitado somente à máquina, mas pode ser usada em conjunto com operações manuais.

Predominantemente é uma técnica para detectar e corrigir defeitos na produção e sempre incorporar os seguintes dispositivos: mecanismos para detectar anormalidades ou defeitos e para parar a linha ou a máquina quando isso ocorrer. Desta maneira, partes defeituosas não passam despercebidas na linha.

“Pare a produção para que a produção nunca pare.” (DENNIS, 2008)

Já *Poka-yoke* significa implementar dispositivos simples, de baixo custo, que detectem situações anormais antes que ocorram ou parem a linha, como gabaritos de peças ou processos.

Trabalhadores

As características do ambiente de trabalho no Japão são muito propícias para os trabalhadores multifuncionais. Seus sistemas de emprego e salário consideram o tempo de casa, os treinamentos no trabalho, as transferências entre os diferentes departamentos (*job rotation*), a tendência a criar lealdade à empresa, entre outras características.

MONDEN (1983) diz que a utilização de *job rotation* possui vantagens como:

- Renova as atitudes dos trabalhadores e previne fadiga muscular, tornando-os mais atentos e cuidadosos, o que evita acidentes;
- Elimina o sentimento de injustiça entre os trabalhadores veteranos e novos, melhorando o relacionamento entre eles;
- Conserva o conhecimento na empresa, já que os trabalhadores seniores e os supervisores treinam os novatos, as habilidades e conhecimentos são dispersos nas plantas e mantidos nas fichas de padrão da operação;
- Aumenta a lealdade dos trabalhadores, pois como cada um participa de todos os processos da planta, ele se sente responsável pelas metas desta, como segurança, qualidade, custo e produção;
- Proporciona melhorias, já que em novas plantas ou processos, todos têm um novo contato e novo ponto de vista, o que pode isolar problemas ou apresentar pontos

de melhorias.

Para reduzir o número de trabalhadores em suas linhas, Toyota elimina operações que geram desperdício, realoca operações entre os funcionários e reduz a força de trabalho, essas três etapas são um processo cíclico, repetido continuamente até que todas as melhorias de linha possíveis sejam realizadas.

Para a Toyota, o propósito e espírito do sistema de sugestões são expressos no slogan: “Bons produtos, boas ideias”, através das ideias de todos os funcionários, melhorar a qualidade do produto e reduzir custos para que a empresa continue a crescer em seu mercado. (MONDEN, 1983)

Melhorias individuais são concebidas e introduzidas por um trabalhador ou pequenos grupos chamados de Círculo de Controle de Qualidade que são compostos por trabalhadores de cada posto de trabalho e liderados pelo supervisor. Quando um membro do grupo apresenta um problema para atenção do supervisor, este segue os seguintes passos:

- 1) Definição do problema;
- 2) Exame do problema;
- 3) Geração de ideias;
- 4) Resumo das ideias;
- 5) Submissão da proposta.

O círculo de controle de qualidade estuda os conceitos e técnicas de controle de qualidade para prover soluções a problemas no ambiente de trabalho. Suas atividades promovem ao trabalhador senso de responsabilidade, veículo para alcançar as metas de trabalho, proporcionam a cada trabalhador aceitação e reconhecimento e permitem melhoria e crescimento de suas habilidades.

As ideias não necessitam de ser submetidas somente através do círculo de controle de qualidade, mas também podem ser enviadas pelo trabalhador, individualmente.

4.5 APLICAÇÕES SISTEMA TOYOTA

Para atingir o objetivo de balanceamento, variabilidade da produção e fluxo de uma peça, Toyota preparou novos layouts de estações de trabalho que permitiam a realizações de diferentes processos por trabalhadores multifuncionais.

O tempo de movimentação/transporte entre as estações de trabalho da linha de produção deve ser equalizado, ou seja, eles devem começar e terminar simultaneamente. De acordo com o sistema de transporte, uma unidade finalizada pode ser produzida a cada tempo de ciclo e simultaneamente cada produto das etapas intermediárias será enviado para a etapa seguinte. O tempo de ciclo ou “*takt time*” é o tempo total de operação e transporte. Isso é chamado de produção de uma única unidade (MONDEN, 1983).

Para MONDEN (1983), em geral, se o tempo de setup é reduzindo para $1/n$ do seu tempo inicial, n , o lote pode ser reduzido para $1/n$ do seu tamanho original, sem alterar sua taxa de carregamento. Desta forma, com a redução do tamanho do lote, o lead time também se reduz e a empresa pode se adaptar às demandas dos clientes com mais rapidez. Além disso, o número de *kanban* também será reduzido para $1/n$, reduzindo também o estoque existente.

Há também um trabalho para a redução do tempo de espera, que é o tempo gasto entre cada etapa do processo para os produtos completados na etapa anterior, excluindo tempo de transporte. São dois tipos de tempo de espera, um causado pelo desbalanceamento do tempo de produção entre os processos e outro por todo o tamanho do lote no processo predecessor. Para diminuir o primeiro tipo de tempo de espera, um balanceamento de linha deve ser obtido, a produção em cada etapa deve ser na mesma quantidade e no mesmo período. Apesar do tempo de ciclo dever ser o mesmo em todo o processo, nas linhas de montagem, haverá diferenças entre os tempos de operação entre os processos, dependendo de pequenas diferenças nas capacidades e habilidades dos trabalhadores. Para minimizar essas diferenças, padronização e rotinas de operação são muito importantes e os supervisores devem treinar os trabalhadores para segui-las.

O Sistema Toyota também busca o *Single Setup*, tempo de *setup*, que possui um único dígito numérico em relação aos minutos (máximo 9 min e 59 s). Toyota conseguiu essa redução de *setup* em 1970. Hoje, em vários casos, reduziu-se a menos de um minuto. Diminuindo o tempo de *setup*, o tamanho dos lotes pode ser minimizado assim como os estoques de produtos acabados ou intermediários. Desta maneira, a empresa também pode se adaptar às demandas dos clientes e mudanças de maneira rápida.

Com a redução do *setup*, há maior utilização do maquinário, mais próxima de sua capacidade total.

Principais vantagens do “*single setup*”:

- Minimização do estoque;
- Produção orientada à demanda (*job order*);
- Adaptação fácil às mudanças de demanda.

Single setup não é uma técnica e sim um conceito que requer mudanças de atitude dos funcionários.

Para se reduzir o tempo de *setup*, quatro conceitos principais devem ser conhecidos:

1) Separar o *setup* interno do externo.

Setup interno refere-se àquelas atividades que inevitavelmente requerem que a máquina esteja parada e *setup* externo são aquelas atividades que podem ocorrer enquanto a máquina estiver em atividade.

2) Converter o máximo possível do *setup* interno em externo.

Esse é o conceito mais importante relacionado ao *single setup*.

3) Eliminar o processo de ajuste.

O processo de ajuste no *setup*, normalmente, gasta cerca de 50 a 70% do tempo total do *setup* interno. Reduzi-lo é muito importante para diminuir o tempo total de *setup*. O ajuste não deve conter conceitos de montagem / fixação.

4) Abolir a etapa de *setup*.

Isso pode ser alcançado com design uniforme de produto e/ou a mesma parte para diferentes produtos.

Para aplicar esses 4 (quatro) conceitos existem seis técnicas:

- 1) Padronizar as ações externas de *setup*;
- 2) Padronizar apenas as partes necessárias da máquina;
- 3) Utilizar um fixador rápido – ferramenta para agilizar *setup* padronizada;
- 4) Utilizar ferramenta suplementar – ferramenta padronizada utilizada no *setup* externo que facilita a montagem no *setup* interno, reduzindo a montagem a um movimento;
- 5) Utilizar operações paralelas – utilizando mais de um trabalhador em paralelo;
- 6) Utilizar sistema mecanizado de *setup*.

Apesar do Toyota ter reduzido o tempo de *setup* para menos de 10 minutos, este tempo é somente o *setup* interno. O *setup* externo ainda requer meia ou uma hora.

5. LEAN SHIPBUILDING

Desde a era pós-guerra, um dos principais objetivos da indústria de construção naval japonesa foi a eliminação de etapas desnecessárias no processo. Houve uma busca por aumentar o ritmo do processo e reduzir tempo de espera e, como dito, etapas desnecessárias. Para aumentar a velocidade de produção, procurou-se melhorar a área fabril, ferramentas, métodos de trabalho, além de outros meios. Para tal, era necessária uma análise detalhada de todas as atividades do processo de construção, para identificar os desperdícios.

KOENIG *et al.* (2002) apresentou três exemplos de eliminação de desperdícios na construção naval:

- Melhoria no controle de precisão para eliminar processamento devido a material extra na junção dos blocos;
- Treinamento de trabalhadores multifuncionais para eliminar tempo ocioso;
- Desenvolvimento de desenhos do *outfitting* compostos para eliminar retrabalho em engenharia e produção.

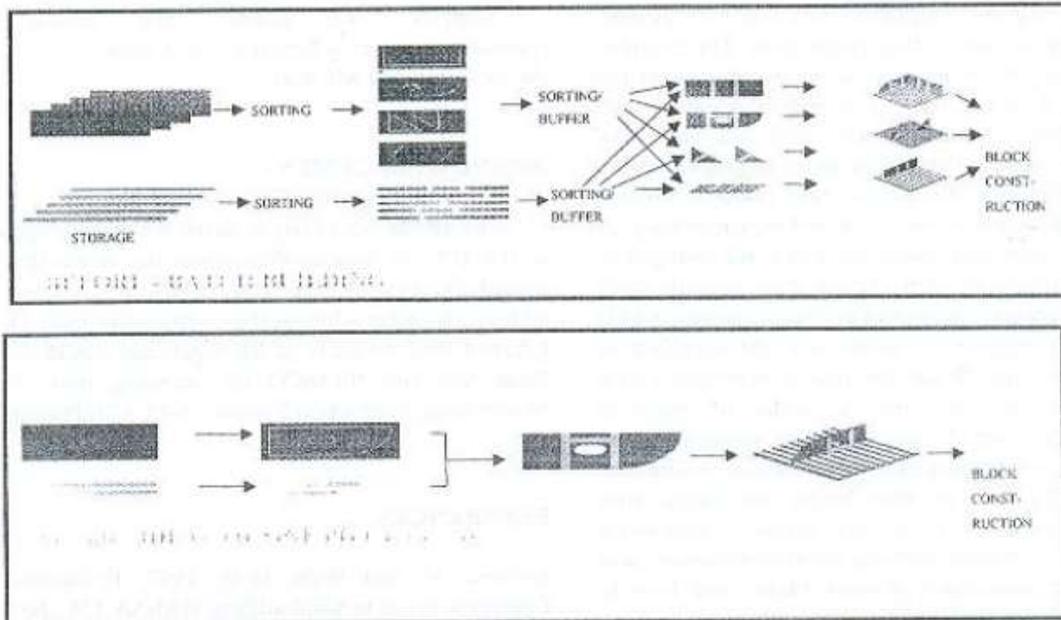
Os estaleiros japoneses incentivam melhorias dos processos através da participação de seus funcionários, com sugestões e iniciativas, de acordo com o pensamento *Lean*. Devido às particularidades de processo e diferenças com a indústria automotiva, não há estaleiro que aplique todas as técnicas de *Lean Manufacturing*.

Um dos diferenciais dos estaleiros referências mundiais é o baixo estoque. Muitos trabalham com processo *just in time*, com entregas diárias de aço e equipamentos que são entregues quando necessários. Ao se aplicar o *just in time* no estaleiro, o ideal é ter o fluxo de uma peça, identificando famílias de produtos/subprodutos/peças que passam pelo mesmo conjunto de processos e dedicar uma linha de produção a estas. Apesar de ser uma metodologia para grandes volumes de produção, estaleiros japoneses a adaptaram para suas realidades.

Para o estaleiro, linha de produto não significa separar as linhas por embarcações,

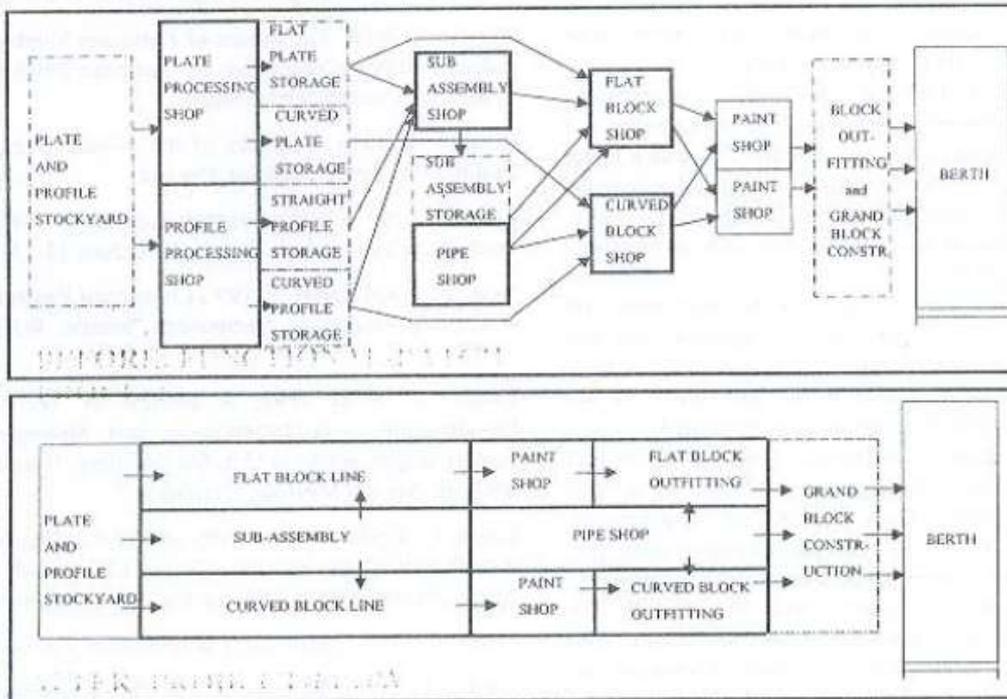
mas por famílias de subprodutos/partes, como blocos retos separados dos curvos.

As figuras 10 e 11 são exemplos mostrados por LAMB (2001) de como seria a produção com o fluxo de uma peça em um estaleiro.



Fonte: Lamb (2001)

Figura 10 Fluxo em lote X Fluxo de uma peça



Fonte: Lamb (2001)

Figura 11 Fluxo em lote X Fluxo de uma peça (processos)

Quando a indústria naval japonesa ressurgiu depois da Segunda Guerra Mundial, ela não era tão produtiva quanto os respectivos líderes, Inglaterra e Norte da Europa. Além disso, seus produtos tinham má fama no mercado, como falta de qualidade e inovação (LIKER *et al.*, 2000).

Entre 1960 e 1965 eles aumentaram a produtividade em 100%. Esse primeiro aumento foi através do desenvolvimento da abordagem construção de blocos estruturais e *pre-outfitting*. De 1965 a 1995 a produtividade cresceu em 150%, para tal melhorou a abordagem da construção dos blocos estruturais, desenvolvimento avançado e zona de *outfitting*. Além disso, eles focaram em todos os detalhes de design e construção para eliminar desperdícios. Para todas essas melhorias, o fator principal foi a participação de todos os funcionários na busca de melhoria contínua. Alguns princípios do *Lean Manufacturing* também foram importantes, como a padronização, o fluxo de uma única peça, fluxo balanceado, foco na eliminação de desperdício, tecnologia de grupos e famílias de peças, linhas dedicadas a produtos intermediários, melhoria contínua,

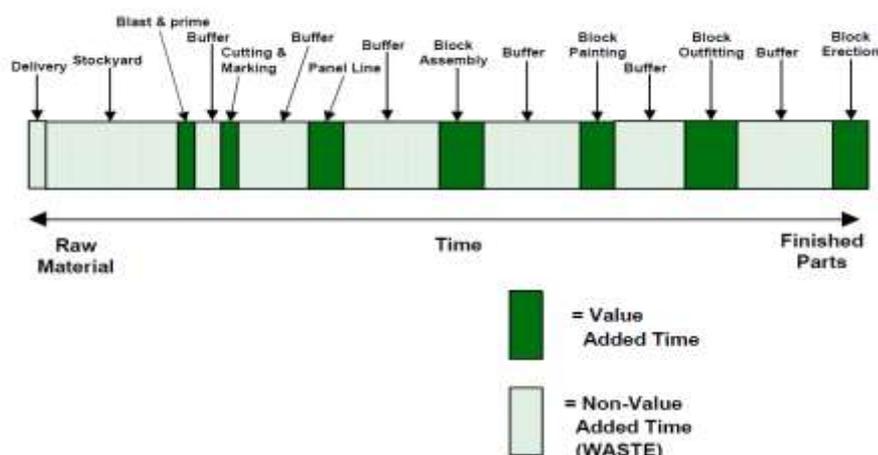
trabalhadores multifuncionais e 5S. (LIKER *et al.*, 2000)

O sucesso da indústria naval japonesa não se deve somente ao *Lean*, mas à junção de outras técnicas desenvolvida pela indústria japonesa, como Gestão da Qualidade Total.

De acordo com LAMB (2001), em 1999 o sistema americano naval, em busca dos mesmos benefícios que o Sistema de Produção Toyota introduziu para as indústrias mundiais, iniciou o projeto de introduzir os benefícios do *Lean Manufacturing* para a construção naval americana e visitou os estaleiros japoneses para avaliar o uso da metodologia.

A utilização do *Lean* nos estaleiros americanos começou através do “*National Shipbuilding Research Program – NRSP*” (Programa Nacional de Pesquisa na Construção Naval). Desde 1999 o NRSP está envolvido em projetos *Lean*, com implementações de sucesso. Foi reportada a redução de custos de mais de \$ 180 M pela indústria de construção naval americana depois de iniciativas *Lean* (INOZU, 2006).

A figura 12, desenvolvida por LIKER *et al.* (2000) mostra a grande porcentagem de processos que não agregam valor no processo de construção de um bloco de embarcação.



Fonte: Liker et al. (2000)

Figura 12 Processos que agregam valor

6. PROJETO

Como dito na introdução, este projeto busca avaliar os benefícios da Manufatura Enxuta (*Lean Manufacturing*) no processo de construção naval.

Segundo STORCH *et al.* (1995), o processo de construção pode ser dividido nas seguintes etapas:

- Desenvolver os requisitos do cliente
- Projeto preliminar / conceitual
- Contrato
- Propostas / contratação
- Projeto detalhado e planejamento
- Construção

Como visto, a última etapa do processo de construção naval é a construção em si. Ela ocorre em quatro diferentes níveis:

- 1) Fabricação das partes individuais com as matérias-primas;
- 2) Junção das partes e componentes para a fabricação de subconjuntos;
- 3) Formação dos blocos;
- 4) Montagem através da junção dos blocos.

Como o processo de construção é muito amplo, houve um foco na construção em si, direcionado à junção de partes e componentes para a fabricação de subconjuntos e formação de blocos.

O trabalho consiste em desenvolver um estudo de uma linha de produção de blocos baseada em dados de um estaleiro localizado no Rio de Janeiro. Foram levantadas informações de processo desta linha, que foi simulada no software Arena e avaliada utilizando conceitos de *Lean Manufacturing*. Em seguida, melhorias no processo apresentadas, com a simulação de um cenário utilizando a metodologia *Lean*.

6.1 METODOLOGIA

Para realização do trabalho foram realizadas visitas ao estaleiro para acompanhamento da linha de construção de blocos a ser analisada. Durante estas visitas, medições foram feitas, observações e levantamentos que auxiliaram a identificar onde se encontravam os gargalos do processo, atrasos, estoques, retrabalhos, sobreprodução, entre outros. O foco foi as ineficiências que criam desperdícios na visão do *Lean Manufacturing*.

Levantadas estas questões, foi desenhado o VSM da situação descrita e da encontrada. A versão encontrada foi simulada no software Arena e, em seguida, através da metodologia *Lean*, melhorias foram propostas para tratar as ineficiências. Um novo VSM foi sugerido e uma nova simulação, com os novos parâmetros realizada para mostrar os benefícios possíveis.

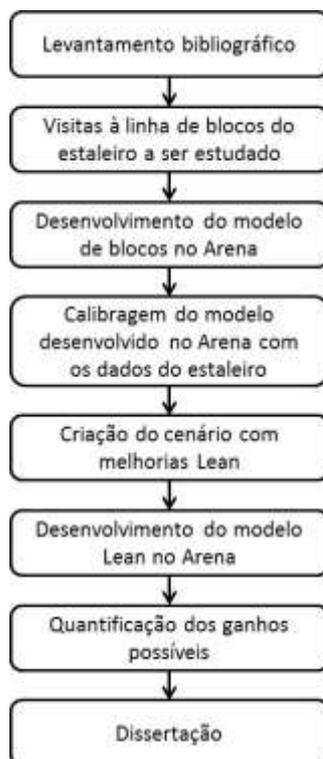


Figura 13 Metodologia

Devido ao tempo de projeto e à dificuldade de se aplicar a metodologia *Lean* em

uma grande área em uma única intervenção *Lean*, o projeto foi limitado a uma linha de construção de blocos. Desta maneira, será mais fácil perceber as melhorias possíveis, tanto para o projeto, que possui um prazo limitado, quanto para o estaleiro.

Durante o trabalho não houve intervenções no processo do estaleiro e nem quebra de sigilo de suas informações. Todo projeto foi desenvolvido através de simulação a ser apresentada ao estaleiro posteriormente.

6.2 ESCOPO DO TRABALHO

Os processos a serem avaliados, de acordo com o estaleiro, são:

- Ajuste de chapa
- Soldagem MIG e automática
- Ajustes e verificações
- Marcação de painel
- Corte e chanfro
- Montagem de perfilados
- Soldagem de perfilados
- Montagem de gigantes e outros elementos estruturais
- Arremates do painel (montagem do bloco)
- Inspeção

As principais entradas no processo são: chapas, perfilados, gigantes e outros elementos estruturais. Como saída, blocos.

6.3 ESTALEIRO PESQUISADO

O estaleiro que foi base para o estudo de caso começou suas operações há mais de sessenta anos e possui infraestrutura para a construção de embarcações até 280 m. Até 2011, havia 439 embarcações entregues.

Possui a capacidade de um navio de tamanho Panamax a cada 4 meses e 10 navios de apoio por ano no regime permanente e sua carteira de encomendas possui 36 embarcações (informações do próprio estaleiro).

6.3.1 Facilidades Industriais

Abaixo estão as características da área do estaleiro (PORTAL NAVAL, 2014):

- Área total: 150.000 m², destas 55.000 m² coberta;
- Capacidade de processamento de aço/ano: 52.000 ton.;
- Guindastes:
 - Quatro, sobre trilhos: 60 ton., 50 ton. e dois de 20 ton.;
- Galpões estruturais:
 - 3 linhas de blocos planos
 - 5 galpões de blocos curvos
- Carreiras de lançamento:
 - 1 para navios até 280 m
 - 1 para navios até 130 m
- Linhas de *Load-out*:
 - Para embarcações militares
 - Para OSVs
- Cais de acabamento:
 - 2 para navios até 300 m
 - 1 para navios até 200 m
 - 2 para navios até 50 m

6.3.2 Mapa do Fluxo de Valor

Para melhor analisar o processo de fabricação de blocos do estaleiro, foi desenhado o mapa de fluxo de valor (VSM) da linha de blocos a ser trabalhada.

O primeiro cenário desenhado foi o descrito pelo estaleiro antes da pesquisa em campo, figura 14. Neste caso, não há a descrição do tempo de processo de cada etapa da

linha de produção. Informalmente, citaram o prazo total de duas semanas ou 10 dias.

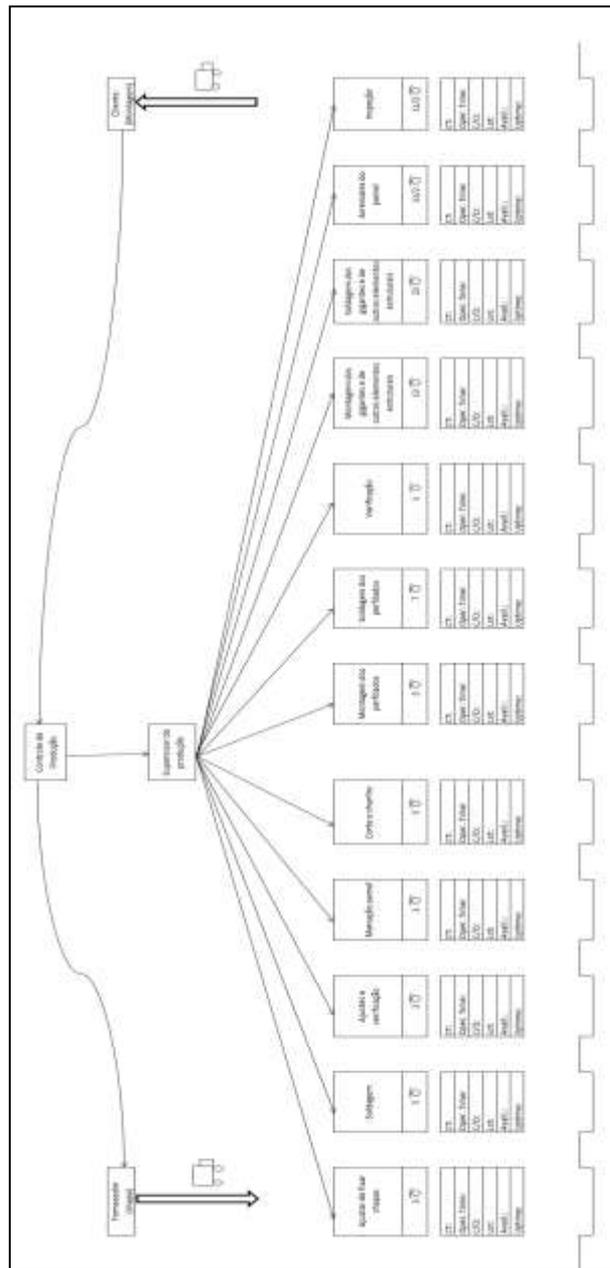


Figura 14 VSM descrito

No entanto, através da pesquisa em campo, as informações encaminhadas pelo estaleiro foram analisadas e reavaliadas. Durante duas semanas, junto a dois alunos de graduação, a rotina de trabalho da linha de produção foi acompanhada. Nestes dias foram realizadas entrevistas informais com os operadores, contagem de tempo de processo e de paradas.

Como não houve nenhum bloco finalizado nas duas semanas de acompanhamento, e, devido a várias paradas de produção por diferentes fatores, não foi possível fazer uma medição precisa do tempo de cada etapa do processo.

Estas foram definidas através da programação existente de janeiro a julho de 2014. O lead time considerado foi o momento que o bloco saiu da programação menos o instante que apareceu. Neste cenário, o lead time médio foi 7,96 semanas ou 39,8 dias. Estes cálculos serão demonstrados no capítulo seguinte sobre a simulação.

Estes valores não estão divididos por etapa do processo. Para tal, foram utilizados as observações em campo e dados do estaleiro para dividir em uma porcentagem representativa de cada processo no tempo total. Neste caso, alguns processos foram agrupados e divididos de acordo com as observações. Como resultado, o VSM encontrado é representado na figura 15.

O tempo de transporte medido entre as estações foi muito pequeno comparado a um dia de trabalho, logo foi definido como zero neste estudo.

Nos dois casos de VSM, descrito e encontrado, não foi possível levantar dados em relação a tempo operacional ou produtividade. Outra questão que dificultou a avaliação é o compartilhamento de operadores ao longo do processo. Algumas funções, como soldadores, trabalham em diferentes estações de trabalho, e outras, como inspetor, é o mesmo a fazer todas as verificações e marcações. Os números de registro de operadores da linha de produção não é equivalente ao encontrado, pois estes são compartilhados com outras linhas. Em razão desta dificuldade, na simulação não houve utilização de um trabalhador em mais de uma estação e este tipo de informação não foi utilizada na análise.

Devido às dificuldades de análise apresentadas, não se pode dizer que o VSM encontrado seja fiel ao existente no estaleiro, logo suas informações são baseadas nos processos reais do estaleiro, no entanto, deve-se dizer que os números tem a grandeza do encontrado, mas são criados para este trabalho.

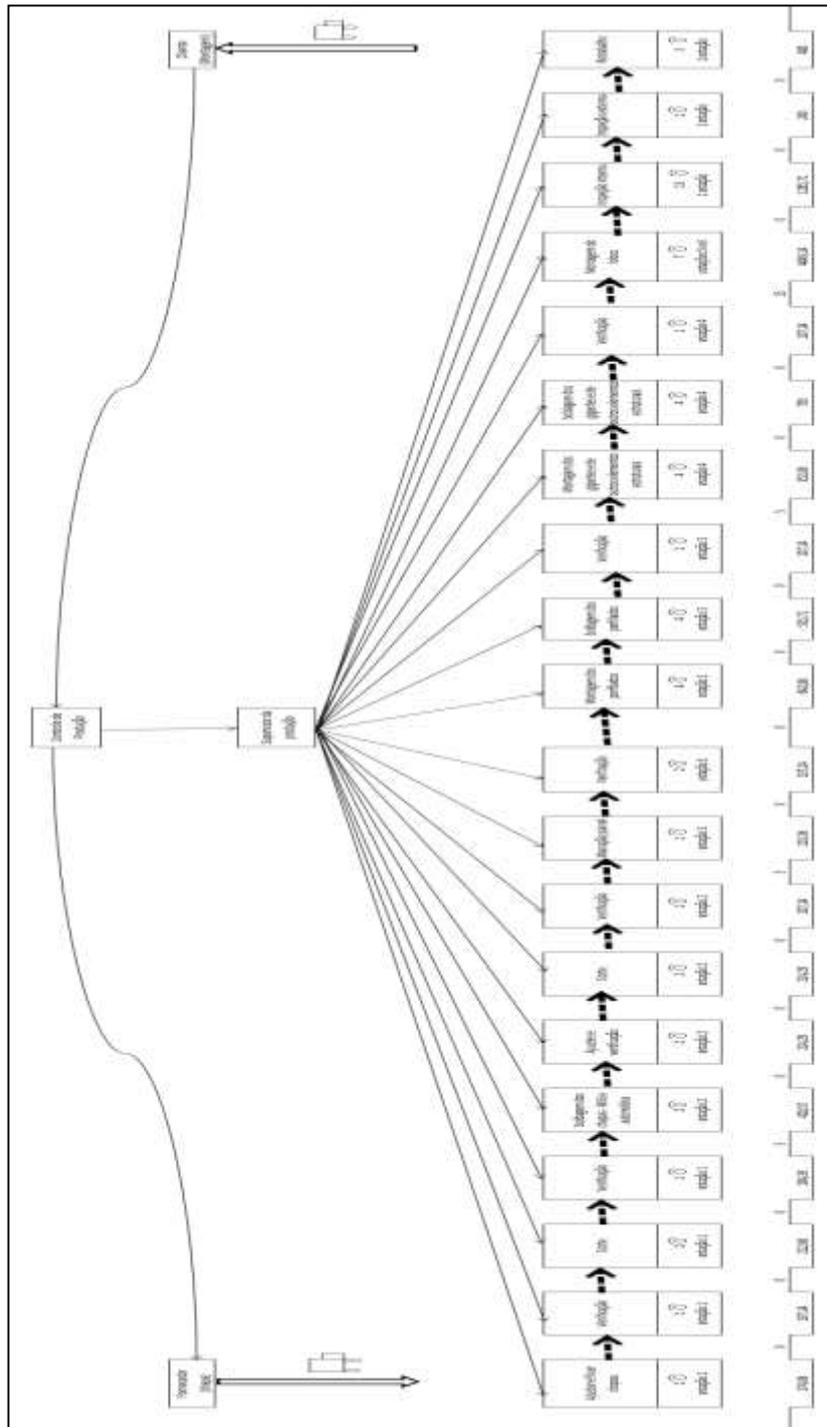
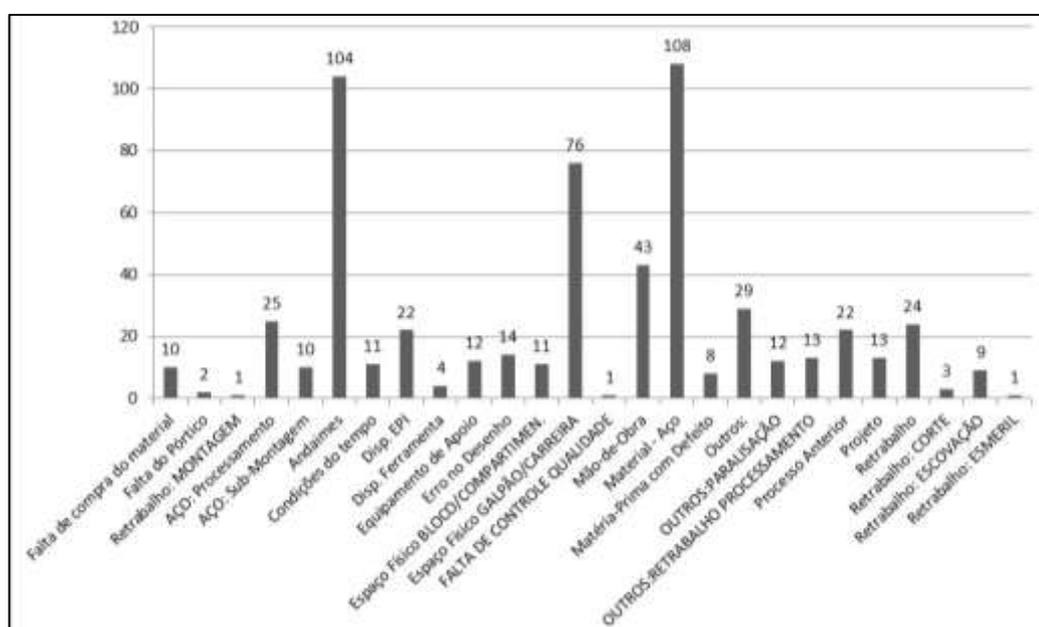


Figura 15 VSM encontrado

6.3.3 Problemas na linha

Conforme citado anteriormente, não foi possível acompanhar o processo completo de um bloco, uma vez que o lead time médio encontrado no estaleiro era de quase oito semanas. São inúmeras as razões para este processo longo, como inexperiência dos funcionários, alta rotatividade e muitas paradas na linha. Este último fator pode ser observado nas razões de paradas levantadas pelo estaleiro durante 17 semanas. Neste período foram 588 paradas registradas (sem os tempos medidos). Uma média de 35 paradas por semana. As causas podem ser observadas na figura 16.



Fonte: Dados do estaleiro

Figura 16 Contagem de paradas

Uma possível análise dos cinco motivos principais de parada seria:

- 1) Material - aço
 - Localização no VSM: Ajustar e fixar chapas;
 - Causas: Atraso na chegada do material ou material não conforme;
 - Solução *Lean*: Sistema *Kanban*

- 2) Andaimos
 - Localização no VSM: Montagem do bloco;
 - Causas: Atraso na montagem do andaime para montar o bloco;
 - Solução *Lean*: *Setup* externo.

- 3) Espaço físico do galpão / carreira
 - Localização no VSM: Em toda a linha;
 - Causas: Falta disponibilidade de equipamentos para deslocamento de peças; espera entre processos;
 - Solução *Lean*: Balanceamento de linha, melhoria de layout.

- 4) Mão de obra
 - Localização no VSM: Em toda a linha;
 - Causas: Atraso ou ausência de funcionários;
 - Solução *Lean*: Funcionários multiquificados e envolvidos em melhoria da linha.

- 5) Aço: processamento
 - Localização no VSM: Em toda a linha;
 - Causas: Não conformidade das peças de aço necessárias ao longo do processo;
 - Solução *Lean*: Controle de qualidade com envolvimento dos funcionários.

Estes problemas mostram que as paradas ocorrem ao longo de todo o processo da linha e poderiam ser solucionadas com uma melhor programação, sistema *kanban*, TPM, balanceamento da linha, funcionários capazes de realizar diferentes tarefas e utilização de *setup* (preparação) externo para deixá-la pronta para o momento de produção.

Estes e os outros inúmeros problemas que aparecem em toda a linha provocam um grande atraso de produção. Eliminá-los é um dos principais focos do *Lean*.

Além destes problemas numerados, durante o período de observação em campo, diferentes paradas e inúmeras possibilidades de melhoria foram levantadas.

Abaixo estão as causas de algumas paradas observadas em campo:

- Falta de programação para montagem de chapas;
- Busca e troca do bico da máquina de corte;
- Espera de material para a montagem do bloco;
- Seleção das chapas corretas para o processo de ajuste de chapas; estas estavam fora de ordem no estoque intermediário;
- Manutenção preventiva da ponte rolante;
- Desempeno de painéis;
- Preparação do painel soldado para deslocamento (solda de suporte);
- Paradas desnecessárias, sem motivos, no processo de risco;
- Ajuste de máquina de solda desregulada;
- Espera no deslocamento dos pesos para soldagem de chapa que se encontravam distante do processo.

Entre as várias possíveis melhorias observadas e seus conceitos *Lean*, há:

- ✓ Distribuir esmerilhadores na montagem de gigantes e do bloco, uma vez que estes só trabalham na inspeção interna --> balanceamento da linha;
- ✓ Evitar envio de peças fora da especificação ou falta na montagem dos blocos (houve uma parada de 12 horas esperando uma peça e um retrabalho de corte de 1 hora em outra peça) --> *kanban*, controle de qualidade - *Poka-Yoke*, participação dos funcionários;
- ✓ Criar uma metodologia dinâmica para verificação dentro do processo: quando há não conformidade, a avaliação passa por três diferentes setores, o que pode durar até um dia de trabalho --> padronização do trabalho;

- ✓ Garantir que o bloco chegue sem problemas para o armador; o bloco sempre é retrabalhado por um dia após a inspeção externa, o que utiliza trabalhadores da linha que poderiam estar em outras funções --> participação dos funcionários multiqualificados, controle de qualidade;
- ✓ Realizar montagem e soldagem de perfis ou gigantes em paralelo, quando possível --> balanceamento da linha;
- ✓ Reduzir a movimentação interna, realocando matérias primas, peças e ferramentas perto do local de utilização --> 5S;
- ✓ Evitar o corte na linha, sendo parte do processo de pré-montagem --> balanceamento da linha, controle de qualidade;
- ✓ Melhorar a programação para que não falte peças --> kanban
- ✓ Realizar manutenções preventivas ou grandes movimentações no turno intermediário --> TPM, funcionários multiqualificados;
- ✓ Melhorar o procedimento de análise dimensional e aprovação com o departamento de projetos --> padronização do trabalho, treinamento de funcionários multiqualificados;
- ✓ Realizar treinamento prévios dos operadores, uma vez que são treinados em linha --> qualificação funcionários.

6.3.4 Situação sugerida

Os conceitos *Lean* de balanceamento de linha e eliminação de desperdícios foram utilizados para se projetar uma nova linha representada no VSM da figura 17.

Neste caso, houve uma redução dos postos de trabalho e alguns funcionários

realizariam múltiplas funções. O *lead time* médio estimado de um bloco nesta primeira redução é de três semanas, o que deverá diminuir com a utilização da simulação.

Operações como montagem e soldagem, nos casos de perfilados e gigantes, foram agregadas para serem realizadas em paralelo. Novos postos de trabalho para montagens deverão ser criados para reduzir o tempo de processo, *lead time*.

Para evitar atrasos, estoques intermediários de perfilados, gigantes e materiais para blocos existiriam, de acordo com a programação, com sistema kanban, e turnos extras seriam utilizados para manutenção preventiva dos equipamentos.

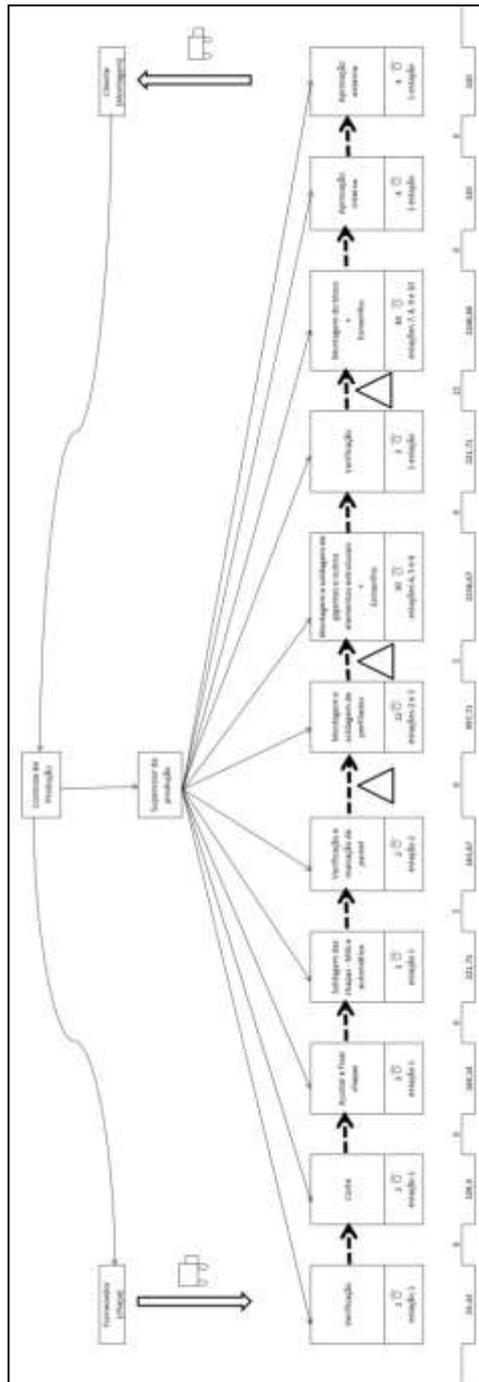


Figura 17 VSM sugerido

7. SIMULAÇÃO

A simulação de eventos discretos auxilia os gestores a analisarem melhor os processos e tomarem decisões com avaliação dos impactos e riscos de possíveis alterações, auxiliando no planejamento estratégico e operacional. A simulação possui grande vantagem quando as mudanças desejadas possuem altos custos de implementação, pois se pode avaliar melhor seus benefícios, antes de efetuar as mudanças. Alguns de seus objetivos são o estudo de novos procedimentos, combinações novas de parâmetros, flutuações de demandas, alterações de programações e novos arranjos físicos (SILVA, 2010). As aplicações da simulação estão desde sistemas de gestão, sistemas computacionais, governamentais como, também, em manufaturas, caso deste estudo.

Segundo CAPRACE *et al.* (2011), a simulação para otimização da produção é disseminada pelas indústrias porque aumenta a confiabilidade dos resultados de alternativas de projeto da produção. Seu objetivo é analisar o funcionamento e permitir propor mudanças e melhorias no processo.

O uso de simulação em estaleiros ainda é um tópico muito recente e, normalmente, está focada em processamento de aço, montagem, pré-edificação e edificação. Ela auxilia na criação de diferentes cenários com diferentes produtos. Estaleiros, universidades e outras entidades criaram o SimCoMar (Simulation Cooperation in the Maritime Industries) para acelerar o desenvolvimento de simulação na área de construção naval, distribuir e divulgar a tecnologia ao estaleiros europeus e americanos. Este grupo permite trocar conhecimentos sobre aplicações da simulação e discussões que estimulem parcerias de pesquisa (SILVA, 2010).

Para realizar a simulação desta pesquisa, foi utilizado o software Arena, muito aplicado à manufatura por possuir um ambiente gráfico integrado à simulação. Ele foi desenvolvido em 1995 pela Systems Modeling Corporation dos Estados Unidos, sendo sua versão 3.0 a única de simulação que já recebeu um certificado de compatibilidade da Microsoft. Em 2000, a Rockwell Software adquiriu a Systems Modeling Corporation, investindo no desenvolvimento do Arena e de suas novas versões, um dos líderes no

mercado de simulação discreta.

7.1 CÁLCULO DOS DADOS

7.1.1 Situação encontrada

Como as medições realizadas no estaleiro foram inconclusivas e este não possui acompanhamento da produção, não se pôde fazer uma simulação de um caso real. Deste modo, neste estudo foi simulada uma linha de produção de blocos fictícia, que retrata uma sequência de processos semelhante a do estaleiro visitado.

Pela falta de dados, considerou-se como base para simulação a programação de 04 de janeiro à 19 de julho de 2013, foram 73 blocos programados, de acordo com documentos do estaleiro.

Como não há datas ou horários especificados nesta programação, foram consideradas as semanas completas nas quais o bloco aparece para analisar quanto tempo este ficou em processo. Apesar de não representar a situação real, pode-se dizer que os números encontrados apresentam um valor de grandeza próximo ao real.

Por exemplo, o bloco 62-01E, tabela 5, apareceu na programação das semanas 319, 322, 323, 324, 325, 326, 327, 328 e 329. Neste caso, foram 9 semanas de processo, resultando em 45 dias, de acordo com a premissa escolhida.

Tabela 5 Programação semanal

Mês	Data	Semana	Casco	Bloco	Peso total	PESO(TON) SUB.MONT.	PESO(TON) SUB.MONT. PENDENTE	PESO(TON) MONT.	PESO(TON) MONT. PENDENTE	PESO(TON) APROV.	PESO(TON) APROV. PENDENTE
Maio	03/05-09/05	319	494	62-01E	27	4,1	4,1	20,3	20,3	2,7	2,7
Maio	27/05-31/05	322	494	62-01E DESENHO REV.Ø	27	4,1	4,1	20,3	20,3	2,7	2,7
Junho	03/06-07/06	323	494	62-01E DESENHO REV.Ø	27	4,1	4,1	20,3	18,3	2,7	2,7
Junho	10/06-15/06	324	494	62-01E DESENHO REV.Ø	27	4,1	4,1	20,3	18,3	2,7	2,7
Junho	17/06-21/06	325	494	62-01E DESENHO REV.B	27	4,1	4,1	20,3	18,3	2,7	2,7
Junho	24/06-28/06	326	494	62-01E DESENHO REV.B	27	4,1	4,1	20,3	20,6	2,7	2,7
Julho	01/07-05/07	327	494	62-01E DESENHO REV.B	27	4,1	4,1	20,3	17,3	2,7	2,7
Julho	08/07-12/07	328	494	62-01E DESENHO REV.B	27	4,1	4,1	20,3	17,3	2,7	2,7
Julho	15/07-19/07	329	494	62-01E	27	4,1	4,1	20,3	13,7	2,7	2,7

Para evitar o uso de dados de blocos que começaram antes da semana 302, 18 blocos que apareciam na programação na semana 302 e finalizavam na semana 303 foram retirados da análise. Além destes dados, foi também excluído um bloco que apresentava somente uma tonelada. Como resultado, foram utilizados, para análise, 54 dados da programação.

O tempo médio de processo destes 54 blocos foi de 7,96 semanas ou 39,80 dias, o que equivale à 19.111 minutos.

Após a seleção dos dados, baseado nas observações em campo e entrevistas, o tempo médio dos 54 blocos foi dividido entre os processos reais existentes (tabela 6):

Tabela 6 Divisão do tempo em processos

Processo	Subprocesso	tempo (dia)	%	Tempo (hora)	Tempo (min)
Chapa montada	Ajustar e fixar chapas	1	2,51%	8	480
Chapa montada	Verificar	0,25	0,63%	2	120
Chapa montada	Corte	0,5	1,26%	4	240
Chapa montada	Verificar	0,25	0,63%	2	120
Chapa soldada	Soldagem das chapas	1	2,51%	8	480
Chapa soldada	Ajustes e verificações	0,5	1,26%	4	240
Painel risc. / cort.	Corte	0,5	1,26%	4	240
Painel risc. / cort.	Verificar	0,25	0,63%	2	120
Painel risc. / cort.	Marcação de painel	0,5	1,26%	4	240
Painel risc. / cort.	Verificar	0,25	0,63%	2	120
Perfilados injetados	Montagem de perfilados	2	5,03%	16	960
Perfilados soldados	Soldagem de perfilados	2,5	6,28%	20	1200
Perfilados soldados	Verificar	0,8	2,01%	6,4	384
Montagem / Soldagem	Montagem de gigantes	2,5	6,28%	20	1200
Montagem / Soldagem	Soldagem de gigantes	5	12,56%	40	2400
Montagem / Soldagem	Verificar	1	2,51%	8	480
Montagem / Soldagem	Montagem do bloco	15	37,69%	120	7200
Aprov. Estaleiro	Inspeção interna	5	12,56%	40	2400
Aprov. Estaleiro	Inspeção externa	1	2,51%	8	480

Para facilitar estes cálculos, considerou-se o tempo médio do processo igual a 19.104 minutos.

No entanto, estes dados possuem as paradas ocorridas nestas semanas. Para estimar o tempo de paradas por processo, aquelas medidas durante as duas semanas de observação foram distribuídas em seus respectivos locais de ocorrência proporcionalmente com seus tempos e depois divididas por hora, conforme tabela 7.

Tabela 7 Tempo de paradas

Local de ocorrência	Soma do tempo total (min)	Soma do tempo por hora (min)
ajustar e fixar chapas	407	7,27
corte	20	0,36
montagem de gigantes	544	9,71
montagem do bloco	2.688	48,00
recebimento de chapas	145	2,59
soldagem das chapas	77	1,38
soldagem gigantes	15	0,27
toda linha	360	6,43
verificação marcação painel	55	0,98
Total geral	4.311	76,98

Os tempos divididos por processos possuem as esperas em seu total. Novamente, pela falta de informação real do estaleiro, criou-se a premissa que os tempos médios de processo (sem espera) são equivalentes a 2/3 do tempo resultante anterior. A partir destes valores calculou-se o tempo resultante considerando as paradas medidas, conforme tabela 8.

Tabela 8 Divisão do tempo em processos considerando as paradas

Processo	#	Subprocesso	tempo (2/3 de divisão anterior) (dia)	%	Tempo (hora)	Tempo (min)	Paradas medidas (processo)	Paradas medidas (toda linha)	Tempo obsoleto	Tempo resultante (sem obsoleto)
Chapa montada	1	Ajustar e fixar chapas	0,67	2,51%	5,33	320	52,57	34,29	64,00	233,34
Chapa montada	2	Verificar	0,17	0,63%	1,33	80		8,57	16,00	71,43
Chapa montada	3	Corte	0,33	1,26%	2,67	160	0,95	17,34	32,00	141,00
Chapa montada	4	Verificar	0,17	0,63%	1,33	80	1,83	8,57	16,00	69,00
Chapa soldada	5	Soldagem das chapas	0,67	2,51%	5,33	320		34,29	64,00	285,71
Chapa soldada	6	Ajustes e verificações	0,33	1,26%	2,67	160		17,34	32,00	142,66
Painel risc. / cort.	7	Corte	0,33	1,26%	2,67	160		17,34	32,00	142,66
Painel risc. / cort.	8	Verificar	0,17	0,63%	1,33	80		8,57	16,00	71,43
Painel risc. / cort.	9	Marcação de painel	0,33	1,26%	2,67	160	2,62	17,34	32,00	140,24
Painel risc. / cort.	10	Verificar	0,17	0,63%	1,33	80		8,57	16,00	71,43
Perfilados cortados	11	Montagem de perfilados	1,33	5,03%	10,67	640		68,57	128,00	573,43
Perfilados soldados	12	Soldagem de perfilados	1,67	6,28%	13,33	800		83,71	160,00	714,29
Perfilados soldados	13	Verificar	0,51	2,01%	4,27	256		27,45	51,20	228,57
Montagem / Soldagem	14	Montagem de gigantes	1,67	6,28%	13,33	800	126,19	83,71	160,00	586,10
Montagem / Soldagem	15	Soldagem de gigantes	3,33	12,56%	26,67	1600		171,43	320,00	1.428,57
Montagem / Soldagem	16	Verificar	0,67	2,51%	5,33	320		34,29	64,00	285,71
Montagem / Soldagem	17	Montagem do bloco	10,00	37,69%	80,00	4800	411,43	514,29	960,00	3.874,29
Aprov. Estaleiro	18	Inspeção interna	3,33	12,56%	26,67	1600		171,43	320,00	1.428,57
Aprov. Estaleiro	19	Inspeção externa	0,67	2,51%	5,33	320				320,00

A próxima etapa do desenvolvimento dos dados foi estabelecer a distribuição de cada etapa do processo. Para tal, estes foram analisados em função da simplicidade e estabilidade do trabalho necessário. Em todos os casos foram utilizadas distribuições lognormais, por ser uma distribuição positivamente assimétrica que não aceita valores negativos, e os processos foram divididos em três grupos: complexidade baixa, média e alta. Esta divisão estabeleceu o desvio padrão estimado, já que faltava este dado nas

medições e informações repassadas.

Processos mais simples, com complexidade baixa, como verificação e corte utilizaram a distribuição normal, e desvio padrão de 30% da sua média. Processos de complexidade média, utilizaram o desvio padrão de 50% e os de complexidade alta, 85%.

No entanto, para um melhor balanceamento de linha na simulação, os processos que acontecem em uma mesma estação tiveram seus tempos e paradas consolidados.

Estes dados podem ser vistos na tabela 9.

Tabela 9 Distribuições utilizadas para simulação

Processo	Subprocesso	Média (2/3 da média anterior)	Distribuição	Grupo	Desvio utilizado	Média	Grupo	Desvio
Chapa montada	Ajustar e fixar chapas	233,14	lognormal	2	116,57	1.158,93	2	579,46
Chapa montada	Verificar	71,43	lognormal	1	21,43			
Chapa montada	Corte	141,90	lognormal	1	42,57			
Chapa montada	Verificar	69,60	lognormal	1	20,88			
Chapa soldada	Soldagem das chapas	285,71	lognormal	2	142,86			
Chapa soldada	Ajustes e verificações	142,86	lognormal	2	71,43			
Painel risc. / cort.	Corte	142,86	lognormal	1	42,86			
Painel risc. / cort.	Verificar	71,43	lognormal	1	21,43			
Painel risc. / cort.	Marcação de painel	140,24	lognormal	1	42,07			
Painel risc. / cort.	Verificar	71,43	lognormal	1	21,43			
Perfilados injetados	Montagem de perfilados	571,43	lognormal	3	485,71			
Perfilados soldados	Soldagem de perfilados	714,29	lognormal	3	607,14			
Perfilados soldados	Verificar	228,57	lognormal	1	68,57			
Montagem / Soldagem	Montagem de gigantes	588,10	lognormal	3	499,88			
Montagem / Soldagem	Soldagem de gigantes	1.428,57	lognormal	3	1.214,29			
Montagem / Soldagem	Verificar	285,71	lognormal	1	85,71			
Montagem / Soldagem	Montagem do bloco	3.874,29	lognormal	3	3.293,14			
Aprov. Estaleiro	Inspeção interna	1.428,57	lognormal	3	1.214,29			
Aprov. Estaleiro	Inspeção externa	320,00	lognormal	1	96,00			

Grupos:	Classificação:	Dispersão:
1	mais estáveis	30%
2	regulares	50%
3	menos estáveis	85%

7.1.2 Situação encontrada estabilizada - Lean

Um segundo cenário foi simulado, sem alteração de layout, mas com estabilidade de processo decorrente do *Lean*.

Como previsto na metodologia *Lean*, *setups* são preferencialmente externos e os trabalhadores participam da manutenção preventiva. Neste caso, em uma situação ideal,

não haveria paradas para buscar materiais ou manutenções agendadas (presume-se que estas ocorreriam fora do horário de trabalho da linha).

Além disso, durante a observação em campo, percebeu-se muito tempo ocioso dos trabalhadores durante os processos, por isso, pode-se considerar que eles conseguiriam reduzi-los em pelo menos 20%, conforme observado na tabela 10.

Tabela 10 Divisão do tempo em processos considerando tempo ocioso

Processo	#	Subprocesso	tempo (2/3 da divisão anterior) (dia)	%	Tempo (hora)	Tempo (min)	Paradas médias (processo)	Paradas médias (toda linha)	Tempo obsoleto	Tempo resultante (sem obsoleto)	Tempo resultante (com obsoleto)
Chapa montada	1	Ajustar e fixar chapas	0,67	2,51%	5,33	320	52,57	34,29	64,00	233,34	289,34
Chapa montada	2	Verificar	0,17	0,63%	1,33	80		8,57	16,00	71,43	55,43
Chapa montada	3	Corte	0,33	1,26%	2,67	160	0,52	17,14	32,00	141,90	106,90
Chapa montada	4	Verificar	0,17	0,63%	1,33	80	1,83	8,57	16,00	69,86	53,86
Chapa soldada	5	Soldagem das chapas	0,67	2,51%	5,33	320		34,29	64,00	285,71	221,71
Chapa soldada	6	Ajustes e verificações	0,33	1,26%	2,67	160		17,14	32,00	142,86	110,86
Panel risc. / cort.	7	Corte	0,33	1,26%	2,67	160		17,14	32,00	142,86	110,86
Panel risc. / cort.	8	Verificar	0,17	0,63%	1,33	80		8,57	16,00	71,43	55,43
Panel risc. / cort.	9	Marcação de painel	0,33	1,26%	2,67	160	2,62	17,14	32,00	140,24	108,24
Panel risc. / cort.	10	Verificar	0,17	0,63%	1,33	80		8,57	16,00	71,43	55,43
Perfilados injetados	11	Montagem de perfilados	1,33	5,03%	10,67	640		68,57	128,00	571,43	443,43
Perfilados soldados	12	Soldagem de perfilados	1,67	6,28%	13,33	800		85,71	160,00	716,29	554,29
Perfilados soldados	13	Verificar	0,55	2,01%	4,27	256		27,63	51,20	228,57	177,37
Montagem / Soldagem	14	Montagem de gigantes	1,67	6,28%	13,33	800	126,15	85,71	160,00	588,30	428,30
Montagem / Soldagem	15	Soldagem de gigantes	3,33	12,58%	26,67	1600		171,43	320,00	1.428,57	1.088,57
Montagem / Soldagem	16	Verificar	0,67	2,51%	5,33	320		34,29	64,00	285,71	221,71
Montagem / Soldagem	17	Montagem do bloco	10,00	37,69%	80,00	4800	411,43	514,29	960,00	1.874,26	2.934,26
Aprov. Estaleiro	18	Inspecção interna	3,33	12,58%	26,67	1600		171,43	320,00	1.428,57	1.088,57
Aprov. Estaleiro	19	Inspecção externa	0,67	2,51%	5,33	320			320,00	126,00	126,00

Esse valor de 20% de redução no *lead time* se mostra conservador ao observar casos de sucesso de aplicação de conceitos *Lean*, em diferentes artigos e casos de consultorias, como por exemplo os citados pela consultoria americana TPS (2014) ou pela Northwestern Michigan College (2014).

Se a linha continuasse com o desenho atual, seriam utilizados os dados da última coluna da tabela. Nesta situação já haveria uma redução de cerca de 23% em relação aos tempos médios resultante, sem paradas.

Nesta segunda simulação, somente os tempos utilizados nos processos foram alterados. Utilizou-se o tempo médio, com a exclusão dos 20% considerados obsoletos. Os processos mais estáveis, utilizaram o valor constante, enquanto os menos estáveis utilizaram uma distribuição lognormal, cujo desvio é 30% de sua média, como pode ser visto na tabela 11.

Tabela 11 Dados da simulação em um processo estabilizado sem alteração de layout

Processo	Tempo resultante (sem obsoleto)	Tempo resultante (com obsoleto)	Desvio	Tempo resultante (com obsoleto)
Ajustar e fixar chapas	233,14	169,14		886,93
Verificar	71,43	55,43		
Corte	141,90	109,90		
Verificar	69,60	53,60		
Soldagem das chapas	285,71	221,71		
Ajustes e verificações	142,86	110,86		
Corte	142,86	110,86		
Verificar	71,43	55,43		
Marcação de painel	140,24	108,24		
Verificar	71,43	55,43		
Montagem de perfilados	571,43	443,43	133,03	
Soldagem de perfilados	714,29	554,29	166,29	
Verificar	228,57	177,37		
Montagem de gigantes	588,10	428,10	128,43	
Soldagem de gigantes	1.428,57	1.108,57	332,57	
Verificar	285,71	221,71		
Montagem do bloco	3.874,29	2.914,29	874,29	
Inspeção interna	1.428,57	1.108,57	332,57	
Inspeção externa	320,00	320,00		

Além desta alteração, os dados de parada também foram desconsiderados na simulação deste cenário, devido à estabilização do processo. Como na situação anterior, os processos iniciais que acontecem em uma única estação tiveram seus tempos somados.

7.1.3 Situação sugerida

A situação sugerida prevê uma estabilidade resultante da aplicação do Lean Manufacturing, neste caso, os dados utilizados são constantes ou possuem um desvio menor.

No entanto, como distribuição do trabalho e balanceamento da linha também fazem parte da metodologia *Lean*, foi sugerido um novo desenho dos processos, com algumas tarefas agrupadas e menos verificações, já que há maior confiabilidade do trabalho. Este novo desenho foi mostrado no capítulo 6, mas será repetido na figura 18.

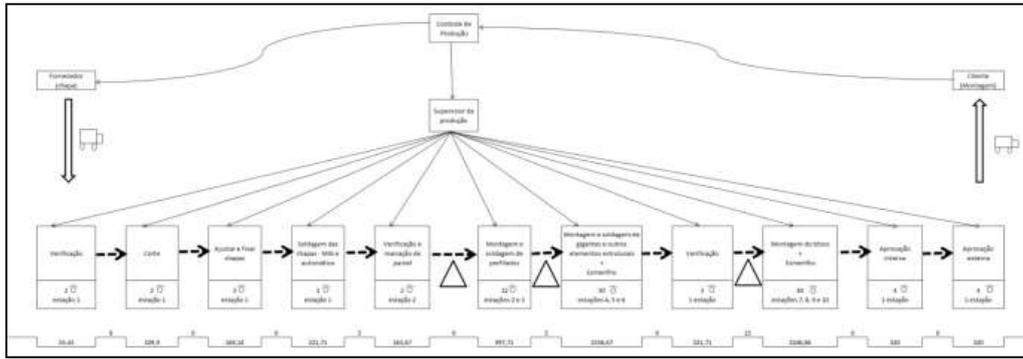


Figura 18 VSM sugerido

Neste caso, houve as seguintes melhorias e alterações de processo (figura 19):

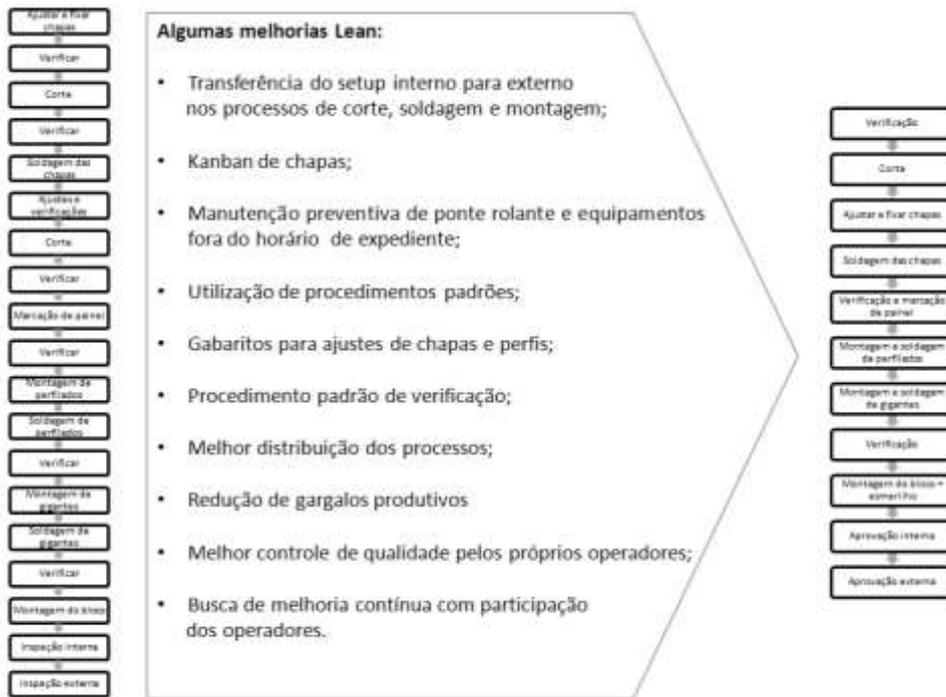


Figura 19 Alterações no processo

As figuras 20, 21 e 22 mostram a sequência de alterações no processo:



Figura 20 Situação encontrada

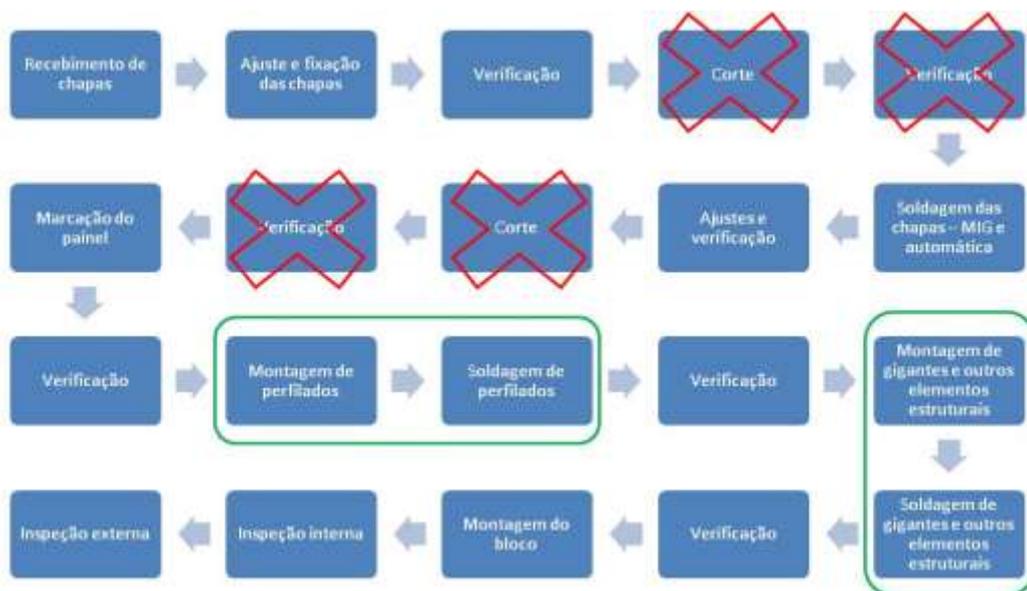


Figura 21 Alterações sugeridas



Figura 22 Situação sugerida

Os tempos calculados para a situação sugerida foram baseados nos tempos encontrados, sem erros ou tempos obsoletos (tabela 12):

Tabela 12 Tempos calculados

Processo	Equação	Tempo processo	Desvio	Tempo processo
Verificação	= Verificação	55,43		556,19
Corte	= Corte	109,90		
Ajustar e fixar chapas	= Ajustar e fixar chapas	169,14		
Soldagem das chapas	= Soldagem das chapas	221,71		
Verificação e marcação de painel	= Verificar + Marcação de painel	163,67		
Montagem e soldagem de perfilados	= Soldagem de perfilados + Montagem de perfilados	997,71	299,31	
Montagem e soldagem de gigantes	= Soldagem de gigantes + Montagem de gigantes	1.536,67	461,00	
Verificação	= Verificar	221,71		
Montagem do bloco + esmerilho	= Montagem do bloco + 30%* Inspeção interna	3.246,86	974,06	
Aprovação interna	= Inspeção externa	320,00		
Aprovação externa	= Inspeção externa	320,00		

Como se pode observar, os tempos foram calculados com base no processo anterior (encontrado), e os tempos resultantes tiveram a redução dos 20% obsoletos. Os desvios dos processos mais complexos foram calculados com base na porcentagem mais estável da situação encontrada, 30% da média.

7.2 RESULTADOS DA SIMULAÇÃO

Os dois cenários (situação encontrada e situação sugerida) foram simulados no software Arena, com a utilização dos dados da seção anterior. Abaixo há uma descrição dos resultados encontrados.

7.2.1 Situação encontrada

Os dados descritos no VSM e nas tabelas de distribuições apresentadas foram simulados no software Arena. A simulação está representada na figura 23.

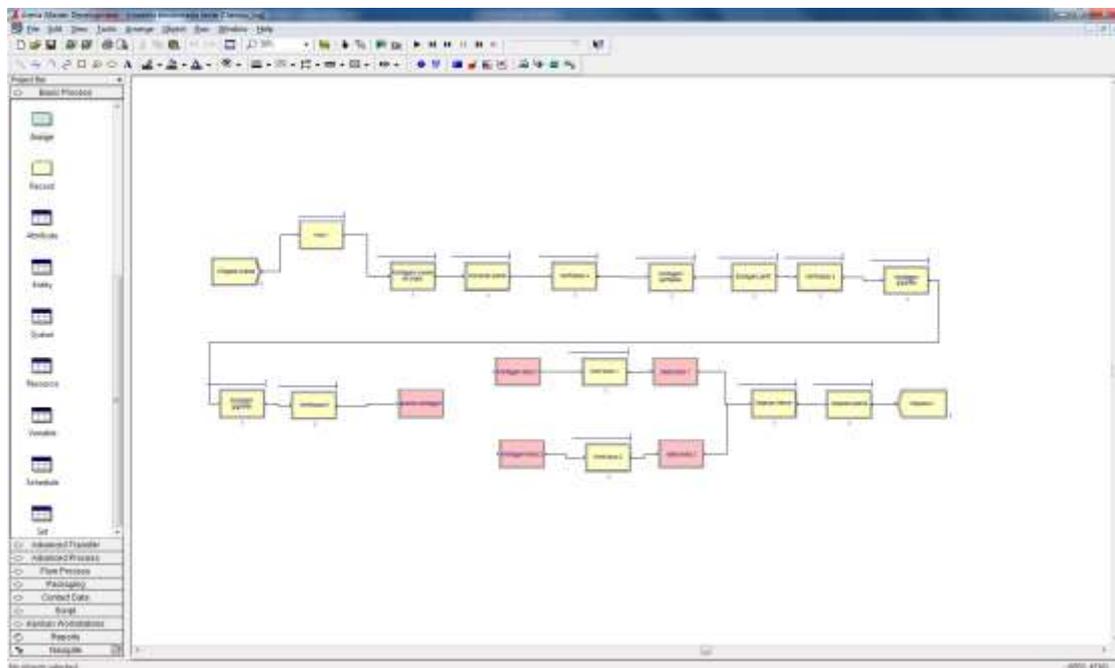


Figura 23 Simulação da situação encontrada

A simulação rodou representando um processo de 73.920 minutos, equivalente a seis meses de produção mais um mês de *warm-up*. Foi replicada 400 vezes, tempo que conforme o gráfico da figura 24 se demonstra suficiente para apresentar convergência.

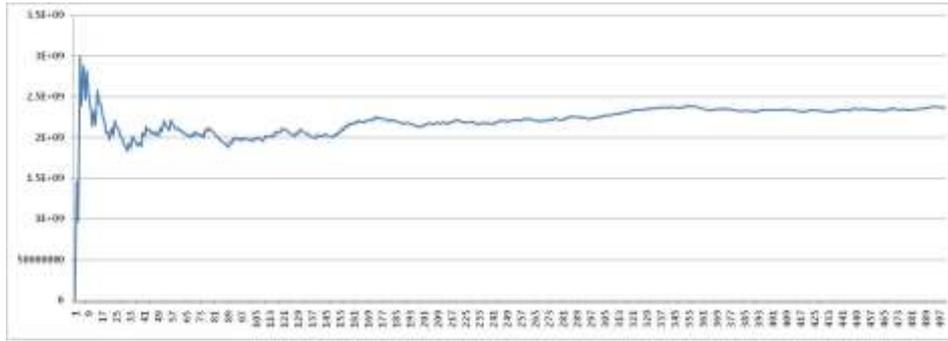


Figura 24 Gráfico de convergência

Os resultados mais representativos para este trabalho são:

- Número médio de blocos produzidos: 49.
- Tempo total médio de processo (um bloco): 14.850,20 minutos.
- Tempo de valor agregado médio no processo (um bloco): 10.595,75 minutos.
- Tempo de espera médio no processo (um bloco): 4.254,44 minutos.

Neste estudo, os recursos (operadores) não foram avaliados por falta de informação precisa a respeito da quantidade e produtividade.

7.2.2 Situação encontrada estabilizada

Neste cenário, foram utilizados os dados mostrados na seção 7.1.2, ou seja, o mesmo desenho de linha da situação encontrada, mas com os valores otimizados dos processos: média sem os 20% de ociosidade, valores constantes nos processos mais simples e utilização de lognormal, com desvio de 30% da média nos processos mais complexos e instáveis.

Como resultado há:

- Número médio de blocos produzidos: 71 -> +45%.
- Tempo total médio de processo (um bloco): 8.361,30 minutos -> -44%.
- Tempo de valor agregado médio no processo (um bloco): 8.323,00

minutos.

- Tempo de espera médio no processo (um bloco): 38,30 minutos.

7.2.3 Situação sugerida

A figura 25 mostra a simulação da situação sugerida que utilizou os dados anteriormente descritos. Vale ressaltar que as alterações foram realizadas de acordo com o conceito do *Lean Manufacturing*, como foi explicado na seção 7.1.3.

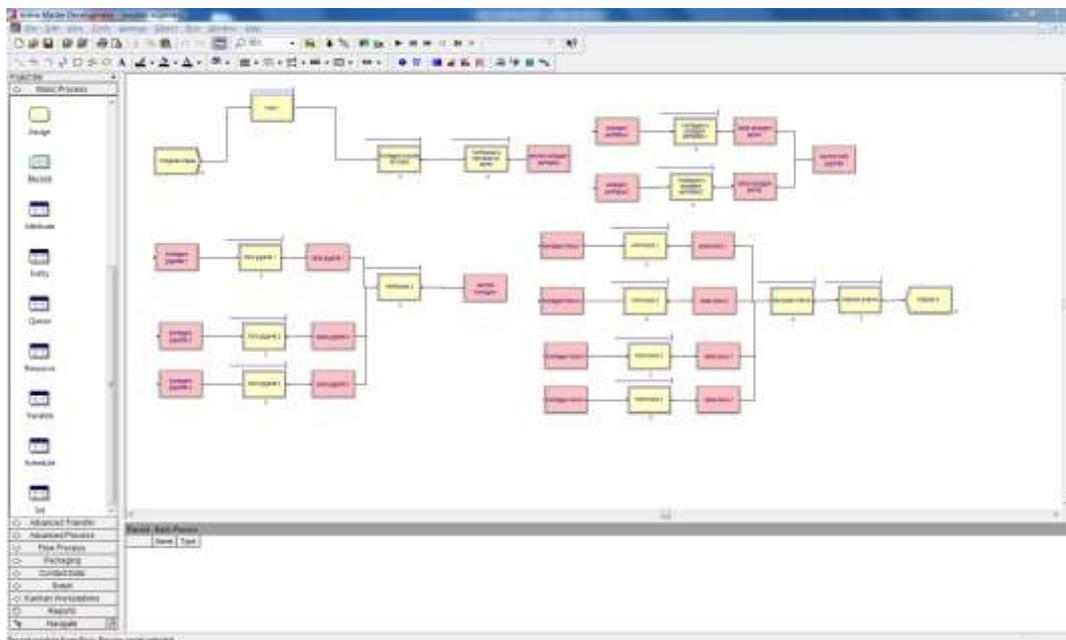


Figura 25 Simulação da situação sugerida

Como nas outras duas, a simulação rodou representando um processo de 73.920 minutos, equivalente a seis meses de produção mais um mês de warm up, e foi replicada 400 vezes.

Os resultados mais representativos para este trabalho são:

- Número médio de blocos produzidos: 114 -> +133% em relação à situação encontrada.
- Tempo total médio de processo (um bloco): 7.370,42 minutos -> -50% em

relação à situação encontrada.

- Tempo de valor agregado médio no processo (um bloco): 7.358,39 minutos.
- Tempo de espera médio no processo (um bloco): 12,03 minutos.

Como citado no outro cenário, os recursos (operadores) não serão avaliados neste estudo.

7.2.3 Comparação das simulações

Como visto, sem alterar o layout da linha, mas com estabilidade de processo, já há uma melhoria de 45% na quantidade de blocos produzida (49 para 71).

Ao comparar os resultados do cenário encontrado X cenário sugerido (com alterações *Lean*) pode-se perceber as seguintes melhorias:

- Melhoria de produtividade de 133% (49 para 114).
- Redução no tempo de processo de 50%.

Houve também uma diminuição no número de processos de 19 para 11, o que torna mais fácil o balanceamento da linha e o controle de processos. Nesta consideração, estações que são espelhos, como montagem de blocos que há mais de uma, são consideradas uma única vez e os processos que acontecem na primeira estação são considerados separadamente.

Neste estudo não houve análise da quantidade ou produtividade dos trabalhadores, por não haver dados confiáveis sobre essa informação em relação ao estaleiro.

8. CONCLUSÃO

A busca pela competitividade pela indústria brasileira é cada vez mais crescente, em todos os seguimentos de mercado. Para a indústria de construção naval não seria diferente. O fato de ter uma demanda real e atual em um cenário de crise mundial, aumenta sua atratividade com os fornecedores / estaleiros mundiais, especialmente asiáticos, que conforme dito no início deste trabalho, possuem maior produtividade e menores custos. A manufatura enxuta / *Lean Manufacturing* é uma metodologia ou, conforme alguns estudiosos, filosofia de trabalho que busca garantir esta competitividade para a indústria através da redução de atividades que não agregam valor ao processo. Apesar de sua origem no mercado automobilístico, diferentes indústrias já a utilizam e demonstram sua eficiência, como por exemplo, a Embraer, fabricante brasileira de aviões.

Esta dissertação, mostrou que o *Lean Manufacturing* proporcionaria grandes avanços de produtividade se for utilizado na indústria de construção naval brasileira. Suas ferramentas facilitam a identificação de problemas e o emprego desta metodologia proporciona oportunidades de melhorias no processo e redução de desperdícios.

Outro importante aspecto deste trabalho foi mostrar como a simulação discreta de processos facilita a visualização de melhorias em uma linha de produção antes que estas sejam implementadas. Deste modo, custos de implementação são reduzidos e melhores cenários definidos antes que haja uma alteração real no processo.

Logo, conforme objetivo deste trabalho, foi demonstrado como o *Lean Manufacturing* e a simulação discreta são válidas e poderiam auxiliar significativamente os estaleiros brasileiros na busca pela competitividade no mercado.

Em uma continuação deste trabalho, seria ideal utilizar medições e dados reais de um estaleiro para calibrar o modelo de maneira mais próxima da realidade e calcular as possíveis melhorias a ser implementadas. Este projeto também poderia ser replicado para outros processos de um estaleiro, além da linha de construção de blocos retos.

9. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

CAPRACE, J. D., MOREIRA FREIRE, R. R., ASSIS, L., MARTINS PIRES, C., RIGO, P., “Discrete Event Production Simulation in Shipyard Workshops”. In: *XXII COPINAVAL – Pan American Conference of Naval Engineering, Maritime Transportation & Ports Engineering*, Buenos Aires, Set. 2011.

CLARKSON, *World Shipyard Monitor*. V. 19, nº 2, Fev. 2012.

CUNHA, M. S., *A indústria de construção naval: uma abordagem estratégica*. Dissertação de M.Sc.. Escola Politécnica / Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil, 2006.

DELMO, A. M., *Análise dos principais segmentos da indústria marítima brasileira: estudo das dimensões e dos fatores críticos de sucesso inerentes à sua competitividade*. Dissertação de M.Sc.. Escola Politécnica / Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil, 2008.

DENNIS, P., *Produção Lean Simplificada – Um guia para entender o sistema de produção mais poderoso do mundo*. 2 ed. Porto Alegre, Editora Bookman, 2008.

DG ENTERPRISE AND INDUSTRY, *Competitive position and future opportunities of the European Marine Supplies Industry*. In: Study for the European Commission 2013/2014

GEIPOT, *Política governamental e competitividade da indústria brasileira de construção naval: evolução, estrutura e diagnóstico*. Volume 2, 1999.

INOZU, B., NICCOLAI, M. J., MACCLAREN, B., RADOVIC, I., BOURG, D., “New Horizons for Shipbuilding Process Improvement”, *Journal of Ship Production*, v. 22, n. 2, pp. 87-98, Mai. 2006.

INOZU, B., RADOVIC, I., MACCLAREN, B. J., PATTI, A. “Lean Six Sigma in

Shipbuilding”, In: *International conference: European Shipbuilding, Repair & Conversion- the Future*, Londres, Nov. 2004

KOENIG, P. C., NARITA, H., BABA, K., “Lean Production in the Japanese Shipbuilding Industry?”, *Journal of Ship Production*, v. 16, n. 3, pp. 167-174, Ago. 2002.

LAMB, T., “World-Class Shipbuilders: Their Productivity Using Lean-Manufacturing Principles”, *SNAME Transactions*, v. 109, pp. 285-308, 2001.

LEAN SHIPBUILDING INITIATIVE, Disponível em: <http://www.nsrp.org/Industry_Initiatives/lean_shipbuilding_initiative/lean/>, Acesso em: 05/09/2012, 14:00.

LIKER, J. K., LAMB, T., “A Guide to Lean Shipbuilding”. In: *Maritech ASE Project #10. Technology Investment Agreement (TIA) 20000214*, University of Michigan, Ann Arbor, Michigan, v. 0.5, Jun. 2000.

LIMA, E. T., VELASCO, L. O. M., “Construção naval no Brasil: existem perspectivas”, *Revista Conhecimento*, v. 1010, Dez. 1998.

MACIEL, F., “Balanço da demanda de plataformas, petroleiros e barcos de apoio da Petrobras mostra que novos estaleiros devem sair do papel o mais rápido possível”, *Brasil Energia*, v. 371, Out. 2011.

MONDEN, Y., “Toyota Production System - Practical Approach to Production Management”, *Industrial Engineering and Management Press*, Institute of Industrial Engineers, 1983.

MOURA, D. A.; BOTTER, R. C., “Análise da competitividade da indústria marítima brasileira – associação dos fatores críticos de sucesso com suas dimensões”, *Produção*, v. 21, n. 4, pp. 594-609, out./dez. 2011.

MOURA, D. A., BOTTER. R. C., “Can a shipyard work towards lean shipbuilding or agile manufacturing?”, In: ISBN 978-0-415-62081-9, *Sustainable Maritime Transportation and Exploitation of Sea Resources*, Rizzuto & Guedes Soares, Taylor & Francis Group, pp. 559-565, London, 2012.

NORTHWESTERN MICHIGAN COLLEGE, Disponível em: <<https://www.nmc.edu/training/newsletters-feature-articles/index.html>>, Acesso em: 10/11/2014, 18:00.

PETROBRAS, *Plano estratégico Petrobras 2030*, Fev. 2014

PORTAL NAVAL, *Principais estaleiros*, Disponível em: <<http://www.portalnaval.com.br/estaleiros/estaleiros-brasil/>>, Acesso em: 16/10/2014 – 15:05.

PRADO, D., *Usando o Arena em simulação*. V. 3, Nova Lima, INDG Tecnologia e Serviços Ltda., 2004.

REVISTA PORTOS E NAVIOS, *Cenário da construção naval segue em expansão afirma sinaval*. Disponível em: <<http://www.portosenavios.com.br/site/noticias-do-dia/industria-naval-e-offshore/15430-cenario-da-construcao-naval-segue-em-expansao-afirma-sinaval>> Acesso em: 29/05/2012 - 16:00

SILVA, C. T., *Simulação de processos industriais como ferramenta de apoio à gestão de estaleiros*, Dissertação de M.Sc., COPPE / UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 2010.

SINAVAL, *A indústria da construção naval e o desenvolvimento brasileiro*, 2010.

SINAVAL, *Cenário da construção naval brasileira – 1º trimestre 2012*, Mai. 2012.

SINAVAL, *Visão geral da construção brasileira*, Mar. 2012.

STORCH, R. L., HAMMON, C. P., BUNCH, H. M., MOORE, R. C., *Ship Production*. 2 ed., Centreville, Maryland, Cornell Maritime Press, 1995.

TPS, *Lean Cases Studies/ Results*. Disponível em:
<<http://www.tpslean.com/resultsall.htm>>, Acesso em: 10/11/2014, 18:19.

WOMACK, J. P., JONES, D. T., ROOS D. *A Máquina que Mudou o Mundo*. 10 ed., Rio de Janeiro, Editora Campus, 1992.