UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA POLITÉCNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA NAVAL E OCEÂNICA

Christopher Granville Thompson

Uma avaliação do potencial de aplicação da Mentalidade Enxuta (*Lean Thinking*) na construção naval: estudo de casos múltiplos

São Paulo
2009

Christopher Granville Thompson

Uma avaliação do potencial de aplicação da Mentalidade Enxuta (*Lean Thinking*) na construção naval: estudo de casos múltiplos

Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Ciências, Programa de Engenharia Naval e Oceânica.

Área de concentração:

Construção Naval

Orientador:

Prof. Dr. Hélio Mitio Morishita

São Paulo
2009

Este exemplar foi revisado e alterado em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com anuência de seu orientador.

São Paulo, 27 de dezembro de 2009

Assinatura do autor

Assinatura do orientador

Ficha Catalográfica

Serviço de Biblioteca e Documentação

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Thompson, Christopher Granville
Uma avaliação do potencial de aplicação da Mentalidade Enxuta (Lean Thinking) na construção naval: estudo de casos múltiplos / C.G. Thompson. -- São Paulo, 2009. Edição Revisada
101 p.

Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Naval e Oceânica.

1. Manufatura enxuta 2. Construção naval (Otimização) 3. Estaleiros 4. Indústria da construção naval 5. Estudo de caso I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Naval e Oceânica II. t.

Nome: Christopher Granville Thompson

Título: Uma avaliação do potencial de aplicação da Mentalidade Enxuta (Lean Thinking) na construção naval: estudo de casos múltiplos

Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências, Programa de Engenharia Naval e Oceânica.

Aprovado em: 27 de novembro de 2009

Banca Examinadora

Prof. Dr. Hélio Mitio Morishita

Instituição: NAVAL/EPUSP

Prof. Dr. Dario Ikuo Miyake

Instituição: PRODUÇÃO/EPUSP

Prof. Dr. Flávio Augusto Picchi

Instituição: FEC/UNICAMP

AGRADECIMENTOS

Ao professor Hélio Mitio Morishita, pela orientação, compreensão e pelo incentivo dado no decorrer do desenvolvimento deste trabalho;

Aos professores da USP, pela contribuição dada na minha formação acadêmica;

Ao meu sócio-amigo-parceiro Lando Tetsuro Nishida que incentivou a realização deste trabalho inclusive abrindo as portas do Mundo Lean;

Aos colegas do Lean Institute Brasil, pela contribuição na minha formação da vida real nas empresas e apoio à realização do trabalho;

Ao próprio Lean Institute Brasil que propiciou minha participação neste curso de pós-graduação;

Ao Eng. Felipe Berra pelo apoio à pesquisa, Antonio Vieira da Fonseca pela sinceridade e histórias contadas sobre o passado e aos demais funcionários do Estaleiro Intermarine que contribuíram para o desenvolvimento dos estudos de campo realizados na empresa;

Ao Estaleiro X em especial o diretor executivo e o gerente de planejamento pelo apoio à pesquisa, e aos demais funcionários do Estaleiro X que contribuíram para o desenvolvimento dos estudos de campo realizados na empresa;

Aos bajeiros, que são companheiros em qualquer momento e situação e especialmente à Equipe Poli (Baja, Solar e Fórmula) que aperfeiçoou minha gana por conquistas;

Aos amigos Alexandre, Ricardo, Polti pela amizade e companheirismo;

Às minhas primas Roberta, Cláudia e Danniele por toda amizade e carinho;

Aos meus pais, Michael e Rosalie pelo apoio em todos os momentos da minha vida;

À minha esposa Clarissa. Amo você.

Christopher Granville Thompson

christopher.thompson@poli.usp.br

cthompson@lean.org.br

thompson.solar@gmail.com

RESUMO

Thompson, C. G. (2009). *Uma avaliação do potencial de aplicação da Mentalidade Enxuta (*Lean Thinking*) na construção naval: estudo de casos múltiplos.* Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Naval e Oceânica, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

A indústria de construção naval é competitiva a nível mundial e os principais estaleiros procuram reduzir os seus custos de modo a oferecerem preços atraentes aos clientes, em geral armadores. Redução de custos pode ser alcançada através da constante eliminação de desperdícios aplicando uma filosofia gerencial que é a Mentalidade Enxuta (*Lean Thinking*). Esta filosofia iniciou em uma indústria automotiva (*Toyota Motor Corporation*) e hoje é aplicada em diversas áreas tais como construção civil, mecânica, aeronáutica, química, elétrica, alimentícia, farmacêutica, médica e serviços. No caso do Brasil, há várias indústrias procurando adotar a filosofia enxuta nos seus processos produtivos. Nesta dissertação procura-se explorar o potencial de aplicação desta filosofia em estaleiros. Para a avaliação, foi realizado um estudo de casos múltiplos em estaleiros brasileiros, inclusive de diferentes tamanhos e segmentos, aço e fibra. As análises tiveram como base um modelo proposto da filosofia *Lean* para a indústria naval, onde os casos são avaliados segundo determinados elementos. O objetivo é orientar os estaleiros em relação às oportunidades de redução de custos e tempo de fabricação, com aumento da qualidade e consequente maior satisfação do cliente.

Palavras-chave: Manufatura enxuta. Construção naval (Otimização). Estaleiros. Indústria da construção naval. Estudo de caso.

ABSTRACT

Thompson, C. G. (2009). *An evaluation of the potential application of Lean Thinking in shipbuilding: multiple-case study.* Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Naval e Oceânica, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

The shipbuilding industry is very competitive at a global level and the major shipyards are searching ways to reduce their costs in order to offer attractive prices to the shipowners. Cost reduction can be achieved through the constant reduction of waste applying a managerial philosophy that is known as Lean Thinking. This philosophy was initiated by an automotive industry (*Toyota Motor Corporation*) and today is applied in many industries such as civil construction, mechanics, aeronautics, chemical, electric, food, pharmaceutical, medical and services. In Brazil many industries are implementing the Lean Thinking philosophy in their productive processes. In this thesis the potential of the application of this philosophy is explored in shipyards. For the evaluation a multiple-case study was carried out in Brazilian shipyards, of different sizes and segments, steel and fiber. The analyses had as a base a proposed model for Lean in shipbuilding, where the cases are evaluated under determined elements. The objective is to guide shipbuilders in relation to the opportunities to reduce cost and construction time, with greater quality and consequently greater customer satisfaction.

Keywords: Lean manufacturing. Shipbuilding (Optimization). Shipyards. Shipbuilding industry. Case study.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 Ilustração dos processos existentes em um estaleiro 15
Figura 2.2 Edificação de um bloco de proa 16
Figura 2.3 Exemplo de uma hierarquia de montagem 17
Figura 2.4 Divisão dos blocos conforme família de produtos..... 18
Figura 2.5 Estágios de fabricação e arranjo do Tipo 1 19
Figura 2.6 Estágios de fabricação e arranjo do Tipo 2 19
Figura 2.7 Estágios de fabricação e arranjo do Tipo 3 20
Figura 2.8 Casa do Sistema Toyota de Produção 31
Figura 2.9 Valor e Desperdício no fluxo de um estaleiro 57
Figura 2.10 Produção em lotes e fluxo contínuo 58
Figura 2.11 Produção por função e por fluxo de produto..... 59
Figura 2.12 Produção com ritmo definido pelo Tempo Takt 60
Figura 2.13 Confiabilidade individual e sistêmica..... 61
Figura 2.14 Modelo de Estaleiro Lean para indústria naval..... 62
Figura 3.1 Mapa do Fluxo de Valor do Estado Atual do Estaleiro X..... 70
Figura 3.2 Exemplo de Muda – Produção em Excesso – Estaleiro X 71
Figura 3.3 Exemplo de Muda – Espera – Estaleiro X..... 72
Figura 3.4 Exemplo de Muda – Transporte – Estaleiro X 72
Figura 3.5 Exemplo de Muda – Processamento – Estaleiro X 73
Figura 3.6 Exemplo de Muda – Estoque – Estaleiro X 74
Figura 3.7 Exemplo de Muda – Movimentação – Estaleiro X 74
Figura 3.8 Exemplo de Muda – Correção – Estaleiro X..... 75
Figura 3.9 Galpão Principal 79
Figura 3.10 Fluxo de Produção das Mini-Fábricas para a Montagem Final 80
Figura 3.11 Comparação dos Casos com uma Construção Naval de Classe Mundial 93

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Indústrias com características semelhantes à naval..... 47
Tabela 2 – Resultados das iniciativas Lean de 2007 até 2008..... 49
Tabela 3 – Resultados do Lean na Voith Paper..... 52
Tabela 4 – Avaliação comparativa entre Estaleiro X e Intermarine 86

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 11
1.1 Considerações Gerais 11
1.2 Objetivo 12
1.3 Estrutura do trabalho 13
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA 14
2.1 Indústria de Construção Naval 14
2.1.1 Processo de Construção Naval 14
2.1.2 Arranjos de Estaleiros 18
2.1.3 Indústria Naval Mundial 20
2.1.4 Indústria Naval Brasileira 22
2.2 Definições do Conceito *Lean* 25
2.2.1 Sistema Toyota de Produção - Origem 25
2.2.2 O Conceito do *Lean Production* 31
2.2.3 A Filosofia Gerencial - *Lean Thinking* 37
2.2.4 Os Cinco Princípios da Mentalidade Enxuta 37
2.2.5 Just-In-Time 42
2.2.6 Jidoka 44
2.3 Iniciativas *Lean* em Indústrias de Produção por Projeto 47
2.3.1 *Lean* na Indústria Aeronáutica 48
2.3.2 *Lean* em Indústrias de Projetos Sob Encomenda 50
2.3.3 *Lean* na Indústria de Construção Civil 53
2.4 Iniciativas *Lean* na Indústria Naval 56
2.4.1 Modelo *Lean* para a Indústria Naval 56
2.4.2 Exemplos de Resultados Já Obtidos 63
3 ESTUDO DE CASOS MÚLTIPLOS DA CONSTRUÇÃO NAVAL BRASILEIRA 66
3.1 Método Adotado para o Estudo de Casos Múltiplos 66
3.2 Caso 1 – Embarcações de Aço 67
3.2.1 Apresentação do Estaleiro X 67
3.2.2 Observação dos Processos Produtivos 68
3.3 Caso 2 – Embarcações de Fibra 77
3.3.1 Apresentação do Estaleiro Intermarine 77
3.3.2 Observação dos Processos Produtivos 78

3.4 Avaliação Comparativa dos Conceitos do *Lean Thinking* nos Casos Apresentados 85
4 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS 94
4.1 Principais Conclusões 94
4.2 Recomendações para Trabalhos Futuros 96
REFERÊNCIAS 97

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

A competitividade da indústria naval mundial tem levado os estaleiros a sofisticarem os seus processos produtivos procurando reduzir custos e o tempo de construção. Esta tarefa não é simples, pois em princípio, os pedidos são personalizados para se atender às necessidades de um cliente específico, exigindo assim, um planejamento apurado no projeto e no processo de construção.

Os sistemas de produção das empresas, de um modo geral, estão cada vez mais avançados e buscam utilizar conceitos de cadeia de valor, na tentativa de reduzir custos e aumentar os resultados financeiros significativamente. Observando-se as empresas de destaque sob o ponto de vista produtivo verifica-se que várias delas adotam a filosofia gerencial da Mentalidade Enxuta (*Lean Thinking*). Esta filosofia foi desenvolvida por uma indústria automotiva (*Toyota Motor Corporation*) e hoje é aplicada em diversas áreas tais como construção civil, mecânica, aeronáutica, química, elétrica, alimentícia, farmacêutica, médica, logística, serviços entre outras.

O objetivo da Mentalidade Enxuta é de entregar um produto de maior qualidade, menor custo com o *Lead Time* mais curto através da redução e eliminação de *Muda* (do japonês - desperdício) presente no processo produtivo. Para a implementação da Mentalidade Enxuta de modo sistemático são adotados uma série de princípios associados a um conjunto de ferramentas.

Em várias partes do mundo, inclusive no Brasil, há várias indústrias procurando adotar a filosofia *Lean Thinking*. Nesta dissertação procurar-se-á explorar o potencial de aplicação desta filosofia em estaleiros, utilizando-se de dois casos reais brasileiros de diferentes tamanhos e segmentos, cascos de aço e cascos de fibra.

1.2 OBJETIVO

Atualmente a indústria naval brasileira está em processo de revitalização e para se tornar competitiva internacionalmente é necessário ter sistemas de produção avançados não só tecnicamente, mas também gerencialmente de modo a reduzir custos. Uma alterativa para isto é a aplicação da Mentalidade Enxuta e o propósito deste trabalho é avaliar o potencial da sua aplicação na indústria de construção naval procurando responder as seguintes questões:

1. Dadas as formas e práticas de gestão utilizadas atualmente na indústria naval, a filosofia da Mentalidade Enxuta pode ser adotada e auxiliar na melhoria da competitividade dos estaleiros?
2. Considerando as características particulares da indústria em que a construção naval está inserida, a visão de valor e desperdício de Taiichi Ohno pode ser útil às necessidades dos estaleiros?
3. É possível utilizar um modelo teórico de estaleiro enxuto para identificar e avaliar os elementos críticos para a realização de uma transformação *Lean*?

Para desenvolver este trabalho é apresentando, inicialmente, o processo de construção de navios para compreender as suas dificuldades e identificar como a Mentalidade Enxuta pode auxiliar no aperfeiçoamento da produção do estaleiro. Em seguida, casos de sucesso de implementação *Lean*, com resultados em indústrias brasileiras de setores com características semelhantes às da indústria naval são analisados. E finalmente, a aplicação da Mentalidade Enxuta na indústria naval é analisada através de um estudo de casos múltiplos envolvendo dois estaleiros brasileiros.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está dividido em quatro capítulos. O primeiro consiste na introdução, na qual são apresentadas as considerações gerais, os objetivos da dissertação e a própria estrutura do trabalho.

No segundo capítulo são apresentadas as fundamentações teóricas dos processos de construção naval e da mentalidade enxuta. Além disso são mostradas algumas iniciativas *Lean* com resultados em indústrias com características semelhantes às da construção naval, inclusive com casos brasileiros, e também iniciativas *Lean* na indústria naval que já estão ocorrendo, no mundo, com a proposta de um modelo *Lean* específico.

No terceiro capítulo, é apresentado o estudo de casos múltiplos. São expostos os estaleiros brasileiros estudados, com a descrição do segmento de atuação e forma de gestão adotada, seguida das análises da situação da empresa face aos conceitos *Lean*. No final é realizada uma avaliação comparativa dos estaleiros através dos elementos propostos no modelo *Lean* para a indústria naval.

No quarto capítulo é apresentada a conclusão da dissertação e recomendações para trabalhos e estudos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 INDÚSTRIA DE CONSTRUÇÃO NAVAL

Com objetivo de avaliar a indústria naval, especificamente os processos de construção naval, foram levantadas algumas bases teóricas. Uma breve análise da indústria de construção naval japonesa, coreana e chinesa é realizada e em seguida há uma referência particular desta indústria no Brasil para um melhor entendimento sobre o meio em que estão inseridos os casos estudados. Como referências básicas para esta seção foram utilizados o livro *Ship Design and Construction*, trabalhos do *Centro de Estudos em Gestão Naval* (CEGN), apostilas do curso de especialização em engenharia naval preparadas pela Universidade de São Paulo (USP) para a Universidade de Pernambuco (UPE) e artigos de periódicos sobre a indústria de construção naval japonesa, coreana (incluindo o maior estaleiro do mundo), chinesa e americana.

2.1.1 Processo de Construção Naval

Em um sistema convencional de construção de navios, inicialmente um projeto é desenvolvido com base nos requisitos do armador, que na sequência é avaliado pelo estaleiro que irá adaptar as suas instalações para a fabricação. Fornecedores de equipamentos são consultados e os sistemas são escolhidos, sendo efetuado um projeto detalhado para posterior fabricação. Está sequência apresentada no sistema pode ser visualizada na Figura 2.1.

A principal questão envolvida neste modelo convencional é que o sucesso do estaleiro depende de vender mais navios iguais, pois a curva de aprendizado dos funcionários é longa uma vez que os processos de fabricação se repetem pouco.

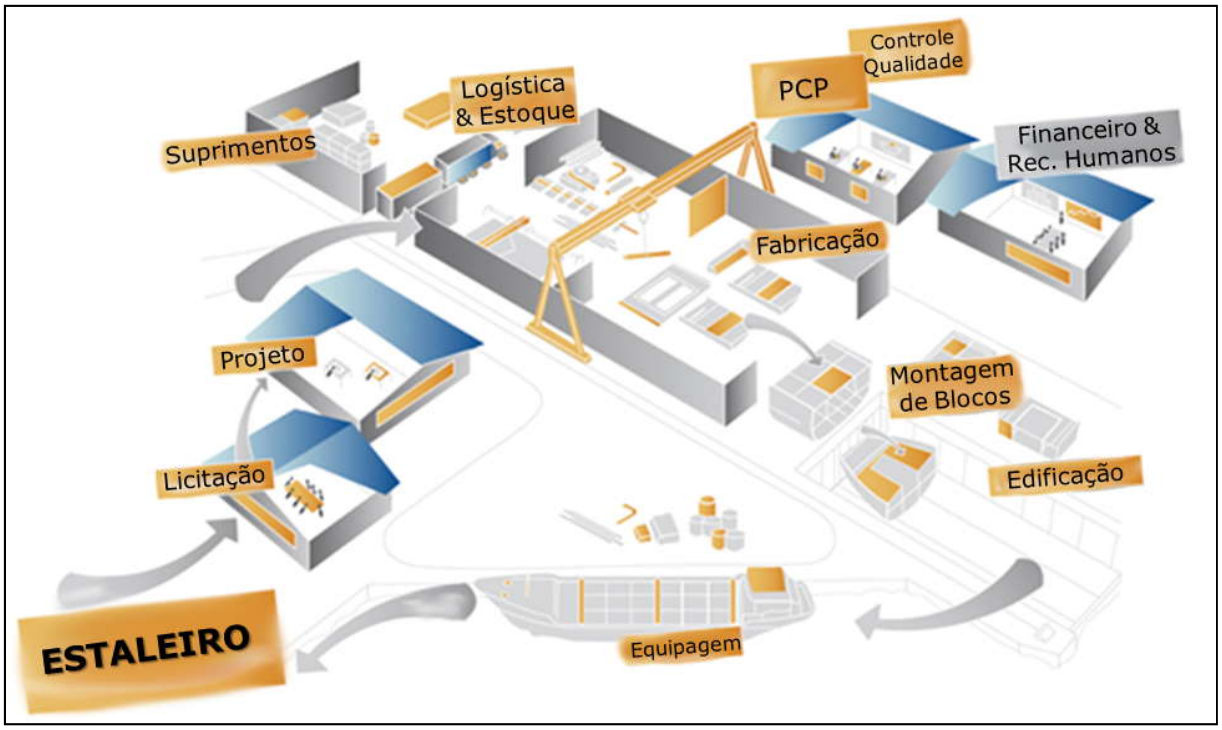

Figura 2.1 Ilustração dos processos existentes em um estaleiro

Em busca do aumento de eficiência dos estaleiros foi proposto um método de fabricação que se denominou baseado no produto. Neste método se busca a maior eficiência focando os métodos de construção e os produtos que o estaleiro tem condição de fabricar eficientemente. No livro *Ship Design & Construction* (INTERNATIONAL GROUP OF AUTHORITIES, 2003) isto é apresentado como Tecnologia de Grupo (do termo inglês *Group Technology* – GT)

Em um sistema baseado no produto inicialmente o estaleiro define os produtos que deseja fabricar, baseando-se nos seus recursos, engenharia de produção e fornecedores parceiros pré-qualificados. Com base nisso é preparado um banco de dados com os produtos que o estaleiro consegue fabricar de maneira eficiente. Na próxima etapa um novo navio é construído partindo de um projeto alinhado de acordo com a base de dados. A curva de aprendizado é rápida, uma vez que serão os mesmos produtos fabricados. A questão chave para o sucesso é a engenharia de produção aplicar consistentemente os mesmos produtos (partes) para a

fabricação dos diferentes modelos de embarcações. Um exemplo de montagem de uma "parte" é apresentada na Figura 2.2.

Figura 2.2 Edificação de um bloco de proa

Existe uma produção orientada para o produto quando há uma definição dos produtos produzidos pelo estaleiro com uma clara hierarquia de montagens, onde cada montagem é um pacote de trabalhos na construção do navio, conforme exemplificado na Figura 2.3.

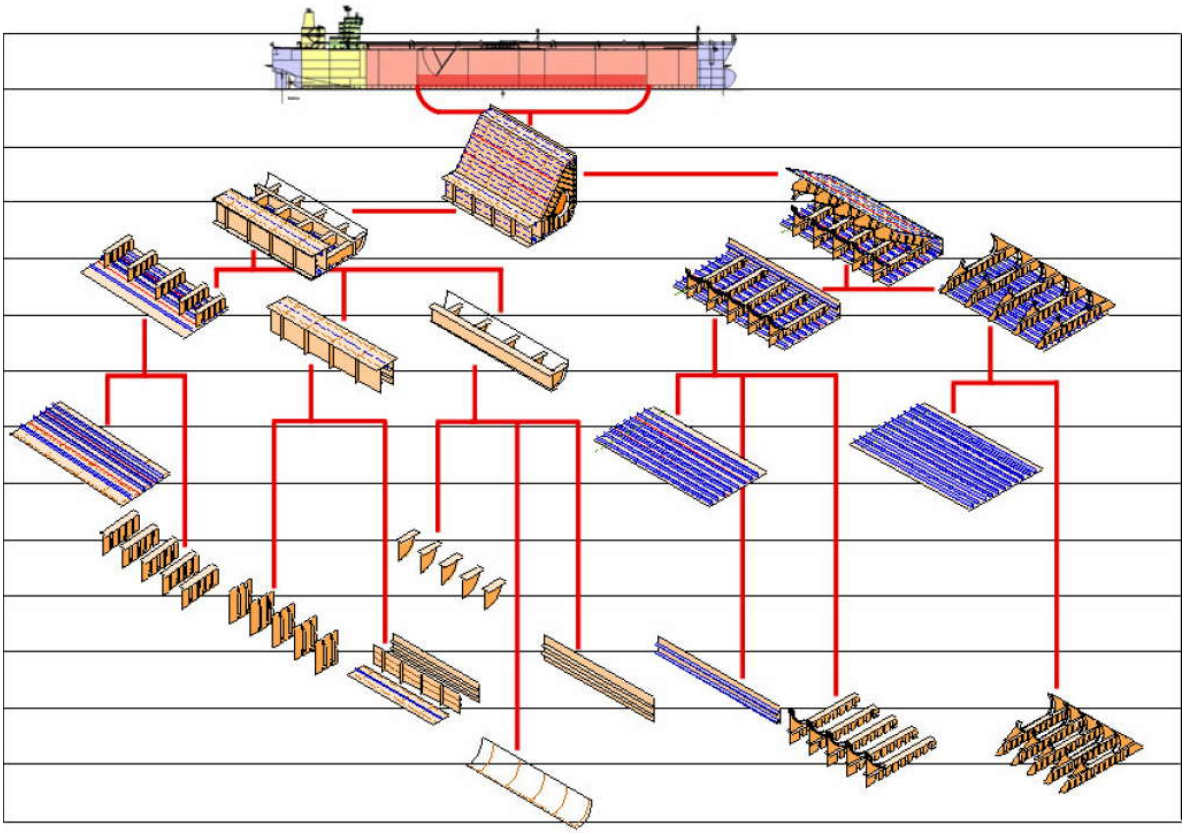

Figura 2.3 Exemplo de uma hierarquia de montagem (MACHADO G. , 2007b)

Pode-se então categorizar estes processos de montagens por processos de produção similares para estabelecer famílias de produtos Figura 2.4, com isso desenvolver processos de produção dedicados para cada família de produto que maximize a aplicação da padronização, automação e robotização permitindo ao estaleiro trabalhar com a máxima eficiência (MACHADO G. , 2007b).

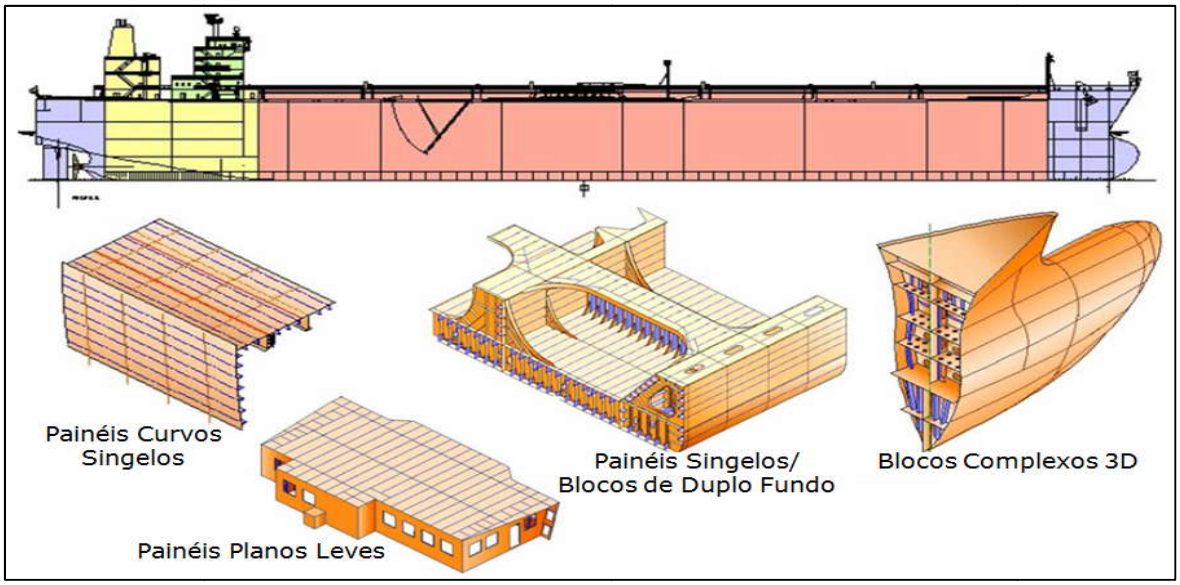

Figura 2.4 Divisão dos blocos conforme família de produtos (MACHADO G. , 2007b)

2.1.2 Arranjos de Estaleiros

Analisando de uma forma resumida existem três tipos básicos de arranjos físicos de estaleiros. O arranjo de uma construção naval é consequência direta do processo de fabricação utilizado.

O primeiro tipo de arranjo, Figura 2.5, apresenta as seguintes características: pouca ou nenhuma mecanização; movimentação de carga de baixa eficiência; controle do processo não padronizado e pouco eficiente; ambiente de trabalho a céu aberto, sujeito a todas as intempéries; atividades relativamente balanceadas e uniformes apesar da baixa eficiência. Em geral apresentam três estágios de fabricação (MACHADO G. , 2007a).

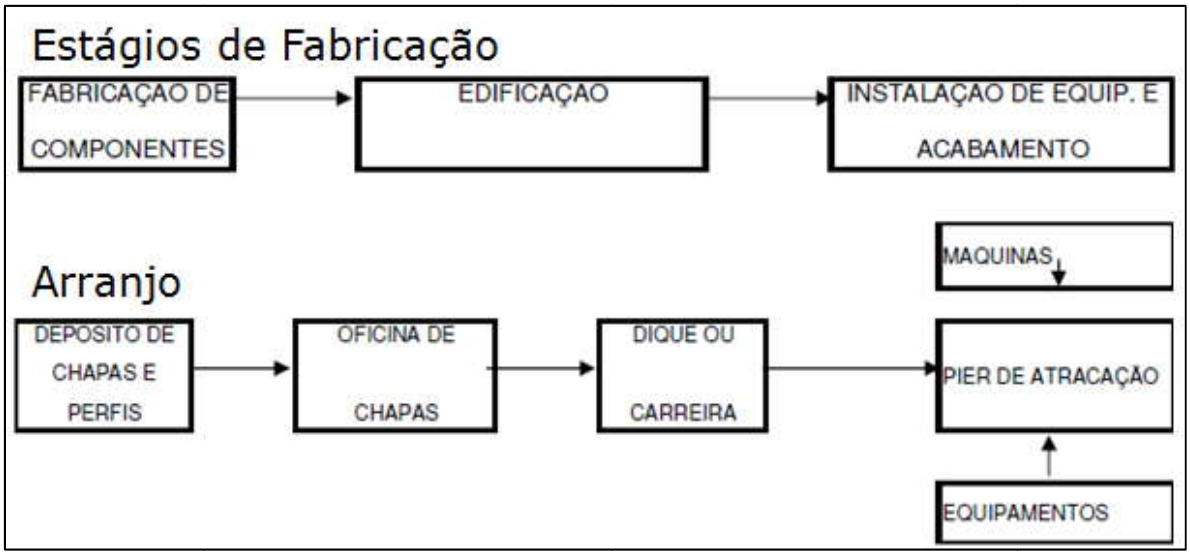

Figura 2.5 Estágios de fabricação e arranjo do Tipo 1 (MACHADO G. , 2007a)

A segunda opção de arranjo para o estaleiro, Figura 2.6, já começa a apresentar algumas evoluções sobre o primeiro tipo onde já existem mais subdivisões na construção da embarcação, por exemplo, com presença de uma pré-montagem reduzindo o tempo na edificação. Neste segundo tipo a utilização de soldagem está bem mais generalizada. Muitas vezes apresentam seis estágios discretos de fabricação (MACHADO G. , 2007a).

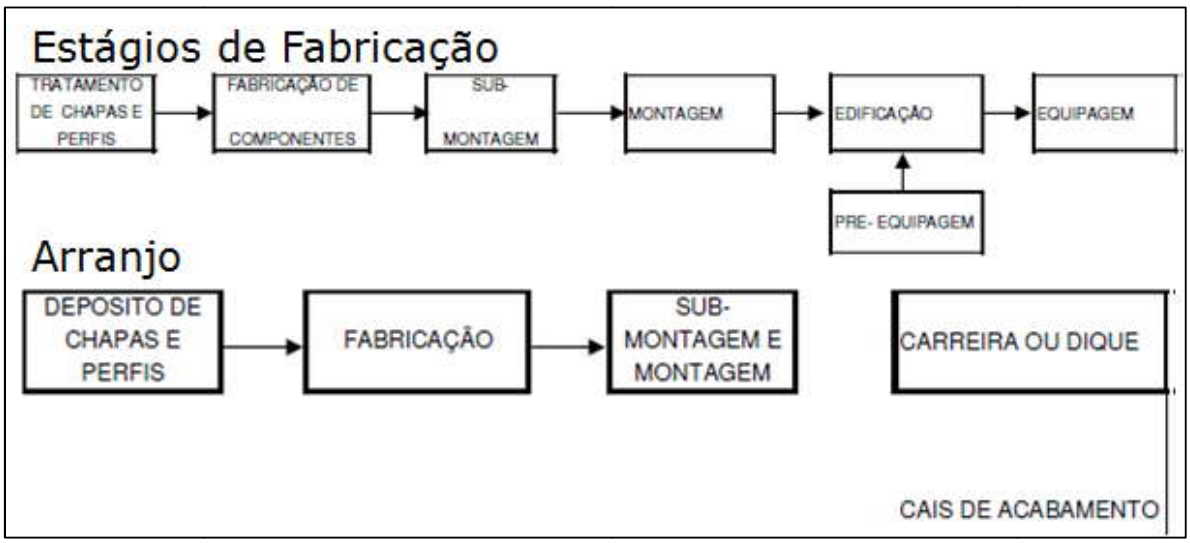

Figura 2.6 Estágios de fabricação e arranjo do Tipo 2 (MACHADO G. , 2007a)

Seguindo a evolução do sistema surgiu um terceiro tipo de arranjo para os estaleiros, Figura 2.7. Neste já existem múltiplos estágios de fabricação, vários inclusive em paralelo. As operações são cada vez mais racionalizadas para melhor aproveitamento dos recursos e aumento direto na eficiência. O estaleiro se caracteriza mais como uma montadora, onde muitas peças e componentes são adquiridos no mercado buscando reduzir o custo de fabricação. A consequência disto é um planejamento e controle da produção naturalmente mais complexo e sofisticado (MACHADO G. , 2007a).

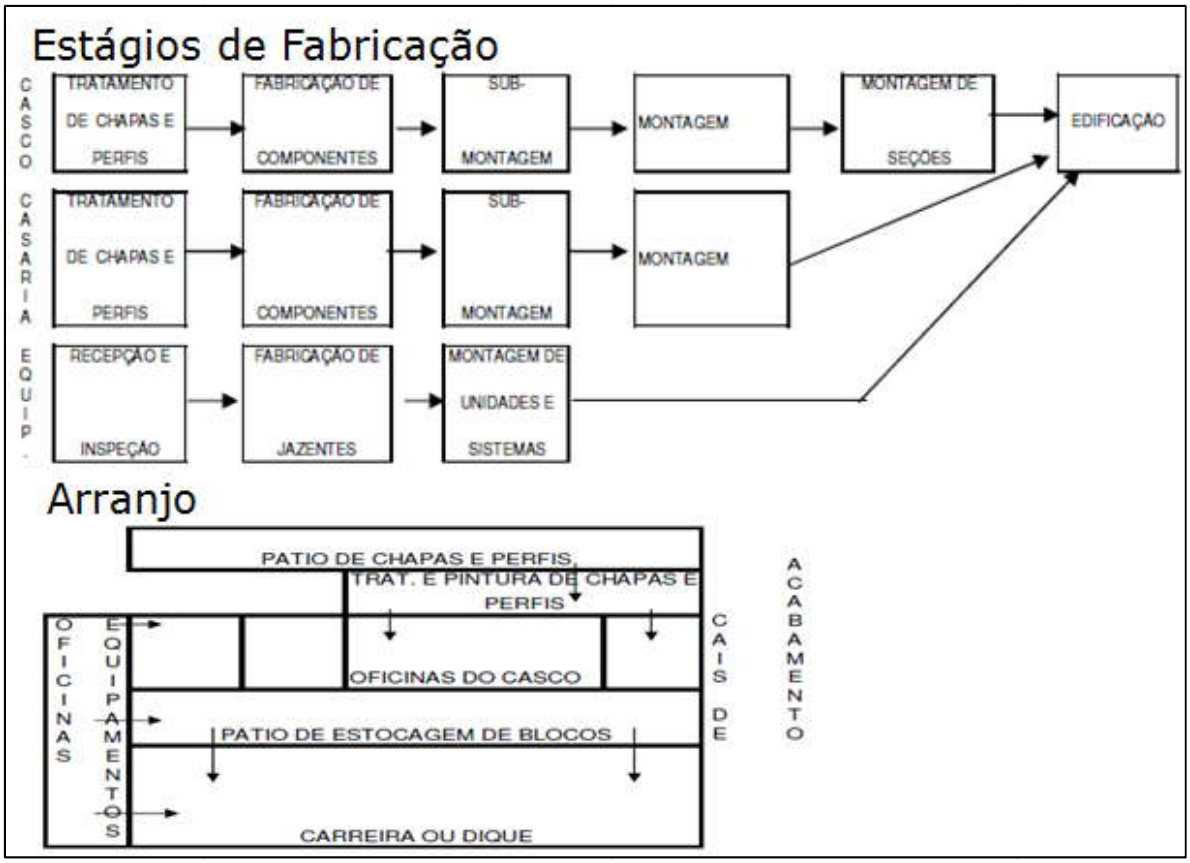

Figura 2.7 Estágios de fabricação e arranjo do Tipo 3 (MACHADO G. , 2007a)

2.1.3 Indústria Naval Mundial

A situação atual da indústria naval vem evidenciando a disputa pela primeira posição, na construção naval global de navios mercantes, entre o Japão e a Coréia, seguidos logo atrás por China. Desde 1956 o Japão tem

despontando como líder mundial na produção de navios. A ameaça do domínio japonês neste mercado veio com a entrada extremamente competitiva da Coréia (PARK, PARK, BYEON, KIM, & KIM, 2006).

O Japão ainda é líder global em produtividade (o coeficiente de produtividade da Coréia é 0,7 tomando-se como base o Japão com coeficiente 1,0) e possui vantagem no *Lead Time* de entrega (o Japão gasta de 400.000 até 600.000 homens-horas e por volta de 6 até 8 meses, enquanto a Coréia gasta de 500.000 até 700.000 homens-horas e por volta de 7 até 11 meses), todavia a Coréia tem tirado proveito, para se tornar competitiva, justamente através de salários dos funcionários significativamente mais baixos (o coeficiente de custo de mão-de-obra da Coréia é 0,5 tomando-se como base o Japão com coeficiente 1,0). O problema desta relação é que os salários dos coreanos, na última década, vêm subindo em um ritmo mais acelerado que os dos japoneses, respectivamente 100% e 10%. Em busca de se estabelecer como líder do mercado a Coréia está promovendo esforços intensos em melhorias de produtividade, suprimindo a competição do Japão e a ameaça da China com seu custo de mão-de-obra extremamente baixa (PARK, PARK, BYEON, KIM, & KIM, 2006).

A maior empresa de construção naval do mundo e líder da indústria coreana de navios mercantes, a *Hyundai Heavy Industries* (HHI) está seriamente atenta à competição global. Desde seu início em 1973, HHI se tornou um estaleiro de classe mundial por desenvolver e adotar tecnologia avançada. Este estaleiro possui uma competência excelente em desenvolvimento de produtos, vendas e marketing, mas precisa melhorar seus processos produtivos. Um exemplo desta busca por excelência operacional está na iniciativa de redução e melhoria do estoque de matéria prima, pois existia, em 2006, o equivalente a três semanas de materiais. Estaleiros japoneses, na mesma época, já utilizavam o *Just-In-Time* (JIT) na cadeia produtiva (através de um operador logístico

externo), mantendo assim, de três até quatro dias de estoque no estaleiro (PARK, PARK, BYEON, KIM, & KIM, 2006).

A China vem acirrando cada vez mais a luta por sua posição no topo desta competição global. Em 2007 já disparou para primeiro lugar, ultrapassando a Coréia, no número de pedidos já fechados de encomendas de embarcações (para os anos seguintes), atingindo um total de mais de 70 milhões de *Compensated Gross Tonnage* (CGT). O CGT é um indicador da quantidade de trabalho necessário para construir uma dada embarcação e é calculado pela multiplicação da tonelagem da embarcação por um coeficiente de equivalência. A previsão é que a indústria naval chinesa, até 2010, vai possuir uma fatia maior que 25% do mercado global. Todavia a China, devido à ineficiência no gerenciamento da produção, ainda está atrás da Coréia e do Japão não só em relação à quantidade, mas principalmente qualidade (YUE, WANG, & Zhang, 2008).

Através de uma comparação global da construção naval ficam caracterizadas situações extremas. O estaleiro coreano Geoje da *Samsung Heavy Industries*, que produz mais de 40 navios por ano, apresenta a maior eficiência produtiva mundial. Em comparação, um estaleiro americano apresenta apenas uma fração desta eficiência produtiva. Desta forma o custo de fabricação de uma embarcação na Coréia corresponde a um terço do custo de fabricação no EUA. Esta diferença pode significar que o custo de fabricação no estaleiro coreano já pode ser inferior ao custo apenas da matéria prima de um estaleiro americano (INOZU, NICCOLAI, WHITCOMB, CLAREN, RADOVIC, & BOURG, 2006).

2.1.4 Indústria Naval Brasileira

A variável chave para o caso de um estaleiro é o *Lead Time* da produção e o tempo de atendimento do cliente. A complexidade do produto em questão, um navio, e do sistema produtivo de um estaleiro, faz com que

este tempo seja chave para o funcionamento eficiente das operações da empresa (PINTO, et al., 2007).

As características significativas de um navio, que devem ser consideradas na configuração de um estaleiro são: grande porte; alta complexidade, com grande número e variedade de componentes; alto valor; baixo volume de produção (número de unidades); feito sob encomenda; customizado ou semi-customizado; e prazo reduzido de entrega em relação ao conteúdo de trabalho (PINTO, et al., 2007).

Essas características revelam como o processo de planejamento e programação da produção e estoques em estaleiros é complexo, todavia deve-se garantir uma construção eficaz (isto é, que cumpra adequadamente os requisitos dos clientes) e eficiente (com um mínimo de recursos necessários). O enfrentamento correto deste problema é condição necessária para o sucesso do estaleiro (PINTO, et al., 2007).

Devido ao atraso em tecnologias de produto, de processo e técnicas de gestão na indústria naval, os estaleiros brasileiros estão sujeitos a uma demanda que valoriza a flexibilidade, tanto quanto prazo e preço.

Se fizermos uma comparação em relação à construção de navios com o Japão, que desde a década de 1970 está entre os maiores produtores, veremos que o preço unitário da energia é próximo ao nosso, que o preço unitário da mão de obra é muito superior ao nosso, que os gastos com desenvolvimento de tecnologia são superiores aos nossos. Portanto, para que um navio construído no Japão seja mais barato que um construído no Brasil, é necessário que a diferença do preço da mão de obra e os investimentos em pesquisa sejam compensados com maior produtividade (menor quantidade de mão de obra para produzir o mesmo produto) e com menores custos de aquisição de materiais (ARTHOU, 2007).

Ao tentar competir em preço e tecnologia, o Brasil tem diversas desvantagens. Consegue obter encomendas apenas em período de alta demanda, quando a oferta de curto prazo está saturada. O Brasil tem

melhores condições de disputar um lugar de destaque no mercado mundial buscando satisfazer outras necessidades dos clientes que não priorizam alta tecnologia ou preços baixos.

Neste contexto, são pontos fortes da estratégia competitiva:

- Confiabilidade de prazo;
- Rapidez no atendimento de pedidos;
- Flexibilidade no projeto e na produção.

O cliente, em geral, aceita pagar preços mais altos, contanto que tenha segurança quanto ao prazo estabelecido, que este não seja muito grande, e que se produzam navios mais customizados (PINTO, et al., 2007).

Armadores mais sensíveis ao tempo de entrega também são especialmente atraentes, desde que o estaleiro seja capaz de atender às expectativas. A flexibilidade no projeto e produção permite atender diferentes tipos de clientes, o que reduz a vulnerabilidade diante de outros concorrentes e oscilações do mercado.

No caso de estaleiros brasileiros de embarcações de aço podemos considerar uma demanda em uma faixa de três a quatro navios de médio ou grande porte no período de 12 a 18 meses. Nestes estaleiros identificam-se as seguintes macro-etapas (PINTO, et al., 2007):

- Suprimento - onde predominam processos de compras
- Fabricação de partes – em oficinas, onde predominam processos de produção intermitente (*job-shop*);
- Montagem de sub-blocos e blocos - em oficinas, onde predominam processos de produção intermitente repetitiva (*flow-shop*);
- Edificação e acabamento - onde predominam processos de produção por projetos.

2.2 DEFINIÇÕES DO CONCEITO *LEAN*

Para realizar a definição do que é *Lean* são apresentadas as origens bem como as interpretações realizadas das idéias e conceitos do Sistema Toyota de Produção (STP), através de uma discussão baseada na bibliografia sobre o tema. São discutidas inicialmente as idéias de Ohno (OHNO, 1997) e Shingo (SHINGO, 1996) e em sequência, a Máquina que Mudou o Mundo (WOMACK, JONES, & ROSS, 1990), que disseminou o uso do termo *Lean*, seguido do livro Mentalidade Enxuta (WOMACK & JONES, 2004), que foi utilizado como referência principal nesta dissertação, outras referências complementares foram O Modelo Toyota (LIKER J. K., 2005) e The New Manufacturing Challenge (SUZAKI, 1987).

Lean Thinking representa uma filosofia gerencial que é traduzida, para o português, como Mentalidade Enxuta. Muitas vezes o termo *Lean* também é empregado para descrever algo Enxuto, logo uma empresa pode estar aplicando a filosofia da Mentalidade Enxuta (*Lean Thinking*) e como consequência conquistar processos Enxutos (*Lean*).

2.2.1 Sistema Toyota de Produção - Origem

Ao apresentar o conceito *Lean* é necessário retornar às origens no Sistema Toyota de Produção (STP). O STP iniciou, por sua vez, da necessidade de aumento de produtividade, na missão traçada, em 1945, pelo então presidente da *Toyota Motor Corporation,* Kiichiro Toyoda (OHNO, 1997): "alcancemos os Estados Unidos em três anos ou a indústria automobilística do Japão não sobreviverá". Uma das pessoas que aderiu a esta missão foi o engenheiro de produção Taiichi Ohno (1912-1990) que posteriormente se tornou vice-presidente executivo. Alcançar os Estados Unidos significava aumentar a produtividade dos trabalhadores japoneses em nove vezes, já que existiam informações de que a razão entre as forças de trabalho americana e japonesa era de um para nove (OHNO, 1997).

Taiichi Ohno refletiu sobre isso e se fez o seguinte questionamento: "Mas será que um americano poderia realmente exercer nove ou dez vezes mais esforço físico? Por certo os japoneses estavam desperdiçando alguma coisa. Se pudéssemos eliminar o desperdício, a produtividade deveria decuplicar" (OHNO, 1997). Essa foi a idéia que marcou o início do atual Sistema Toyota de Produção.

A busca para se atingir o nível de produtividade requerido ficou voltada ao conceito de eliminação, ou no mínimo a redução, do desperdício. Conforme apresentado por Suzaki em relação à Toyota, fazia parte da consciência dos funcionários que "Se não adiciona valor é desperdício" (SUZAKI, 1987). Este contraponto entre valor e desperdício é também apresentado por Ohno deixando clara a preocupação com o conceito do que é desperdício, "A redução da força de trabalho significa aumentar a proporção de trabalho com valor agregado. O ideal é ter 100% de trabalho com valor agregado. Esta foi minha maior preocupação durante o desenvolvimento do Sistema Toyota de Produção (OHNO, 1997)."

O grande objetivo por trás da caça ao desperdício está na batalha pela redução de custos. Enquanto o mercado estava aquecido, em um período de grande crescimento, as empresas determinavam o preço dos produtos através da seguinte relação (SHINGO, 1996):

$$\text{Custo} + \text{Lucro} = \text{Preço de Venda} \quad (1)$$

Desta forma as empresas faziam o cliente responsável por todo custo, as ineficiências dos sistemas de produção eram repassadas aos clientes através do aumento do preço de venda e o "lucro deve ser suficientemente alto para cobrir as possíveis perdas" (SHINGO, 1996). Com o resfriamento do crescimento econômico esta interpretação que havia para custos se tornou limitada, exigindo assim um ajuste de posicionamento; Se o custo de manufatura de um produto não possui qualquer importância para o cliente final, a questão é se o produto tem ou não valor do seu ponto de vista (atende às suas necessidades) (OHNO,

1997). Boa parte das indústrias que hoje estão em um mercado global altamente competitivo aplica o seguinte princípio de custos:

Preço de Venda – Custo = Lucro (2)

Esta relação pressupõe que o preço de venda é determinado pelo mercado e o lucro é o que resta depois de subtrair os custos. Portanto, segundo Shingo (SHINGO, 1996), a única forma de aumentar o lucro é através da redução dos custos, devendo ser dada alta prioridade às atividades relacionadas à redução de custos. Na mesma direção (OHNO, 1997) expõe que a redução de custos deve ser o objetivo dos fabricantes de bens de consumo que buscam sobreviver no mercado atual. Durante um período de grande crescimento econômico, qualquer fabricante pode conseguir custos unitários mais baixos com uma produção maior. Mas, em um período de baixo crescimento, é difícil conseguir qualquer forma de redução de custos. Ainda segundo Ohno (OHNO, 1997), "Numa era de lento crescimento econômico no mundo inteiro, este sistema (Sistema Toyota de Produção) de produção representa um conceito em administração que funciona para qualquer tipo de negócio".

Existe ainda mais uma interpretação, que já vem sendo feita, para esta relação:

Preço de Venda – Lucro = Custo (3)

Onde o preço continua sendo definido pelo mercado, porém com um objetivo determinado para a margem de lucro. A consequência desta interpretação é conhecida como *Target Cost,* onde há uma busca por atingir um custo alvo pré-determinado.

2.2.1.1 Desperdício e Valor

Conforme apresentado no Léxico *Lean* (LEAN INSTITUTE BRASIL, 2007), desperdício é qualquer atividade que consome recurso, mas não cria valor para o cliente. Dentre as atividades realizadas a maior parte é *Muda*

(vocábulo japonês para desperdício). Quando existe *Muda*, podemos distinguir desperdícios do tipo 1 e tipo 2.

O trabalho pode então ser dividido basicamente em três categorias (OHNO, 1997):

- Agrega Valor – Movimentos diretamente necessários para a fabricação de um produto.
- Trabalho Incidental (*Muda* tipo 1) – Movimentos que os operadores têm de realizar para a fabricação do produto, mas que não agregam valor do ponto de vista do cliente.
- Desperdício Puro (*Muda* tipo 2) – Ações que não agregam valor e que podem ser eliminadas imediatamente por *Kaizen* (vocábulo japonês para melhoria).

A fim de reconhecer o desperdício, é preciso entender sua natureza. O desperdício, segundo a categorização proposta por Ohno (OHNO, 1997) e descrito no Léxico *Lean* (LEAN INSTITUTE BRASIL, 2007), pode ser dividido nas seguintes categorias:

- Produção em excesso – Produzir além das necessidades do próximo processo ou cliente. É a pior forma de desperdício, pois contribui para a ocorrência dos outros seis.
- Espera – Operadores esperando enquanto as máquinas operam, esperas causadas por falhas no equipamento, peças necessárias que não chegam etc.
- Transporte – Movimentação desnecessária de produtos ou peças tais como de uma etapa de processamento a um almoxarifado e de uma etapa a outra do processo quando a segunda etapa poderia estar localizada ao lado da primeira.
- Processamento – Realizar etapas desnecessárias ou incorretas, geralmente devido a equipamentos ou projetos inadequados.

- Estoque – Possuir estoques maiores que o mínimo necessário para um sistema puxado e precisamente controlado.
- Movimentação – Operadores realizando movimentações desnecessárias tais como procurar por equipamento, peças, documentos etc.
- Correção – Inspeção, retrabalho e refugo.

2.2.1.2 A Casa do Sistema Toyota de Produção

O desenvolvimento do STP é creditado a Taiichi Ohno, chefe de produção da Toyota no período posterior à Segunda Guerra Mundial. Começando nas operações de usinagem, Ohno liderou o desenvolvimento do STP ao longo das décadas de 1950 e 1960, e sua disseminação à cadeia de fornecedores nas décadas de 1960 e 1970. Fora do Japão, a disseminação ganhou impulso com a criação, em 1984, da *New United Motor Manufacturing Inc.* (NUMMI) uma *joint venture* firmada entre a *Toyota* e a *General Motors*, na Califórnia (EUA) (LEAN INSTITUTE BRASIL, 2007).

O Sistema Toyota de Produção é formado sobre dois pilares, *Just-In-Time* e *Jidoka* (autonomação) (OHNO, 1997). Os conceitos de *Just-In-Time* e *Jidoka* têm raízes no período anterior a Segunda Guerra Mundial. Sakichi Toyoda, fundador do grupo Toyota, inventou o conceito de Jidoka no início do século XX, incorporando um dispositivo de parada automática em seus teares, que interrompia o funcionamento de uma máquina caso um fio se partisse. Isso deu espaço a grandes melhorias na qualidade e liberou os funcionários para a realização de um trabalho que agregasse mais valor do que o simples monitoramento dos equipamentos. A aplicação desse conceito simples encontrou espaço nas máquinas, nas linhas de produção e como consequência nas operações da Toyota como um todo. Kiichiro Toyoda, filho de Sakichi e fundador do negócio automobilístico da Toyota, desenvolveu o conceito de *Just-In-Time* (JIT) na década de 1930. Ele determinou que as operações da empresa não tivessem excesso de

estoques e que a Toyota lutaria para trabalhar em parceria com seus fornecedores a fim de nivelar a produção. Sob a liderança de Ohno, o JIT se tornou um sistema singular de fluxos de materiais e informações para evitar o excesso de produção (LEAN INSTITUTE BRASIL, 2007).

Durante décadas, a Toyota saiu-se bem em aplicar e melhorar o STP no dia-a-dia da fábrica sem documentar a teoria do STP. Trabalhadores e administradores estavam constantemente aprendendo novos métodos e variações por meio da prática real no ambiente da fábrica. A comunicação era forte, tratando-se de uma empresa relativamente pequena, de forma que as "melhores práticas" desenvolvidas na Toyota eram difundidas para suas outras plantas e também para seus fornecedores. Mas, à medida que as práticas amadureciam na Toyota, ficou claro que a tarefa de ensinar o STP para a base de fornecedores não terminava nunca. Assim, Fujio Cho, discípulo de Taiichi Ohno, desenvolveu uma representação simples – uma casa (LIKER J. K., 2005). Há diferentes versões da casa, mas os princípios fundamentais permanecem os mesmos.

O Léxico *Lean* (LEAN INSTITUTE BRASIL, 2007) descreve uma representação da casa do STP, que está apresentada na Figura 2.8. Os elementos que compõem a casa deste modelo são:

- Telhado – Objetivos do sistema: Maior qualidade, Menor custo e Menor *Lead Time* (tempo de atravessamento).
- Pilares – Sustentam o telhado: *Just-In-Time* e *Jidoka* (autonomação).
- Pisos – Sobre o quais os pilares se encontram: *Heijunka* (vocábulo japonês para nivelamento), Trabalho Padronizado e *Kaizen* (melhoria).
- Fundação – Para dar sustentação a toda esta estrutura acima é necessária uma boa base: Estabilidade.

Nas próximas seções, são apresentados os detalhes destes elementos, com base na abordagem da Mentalidade Enxuta.

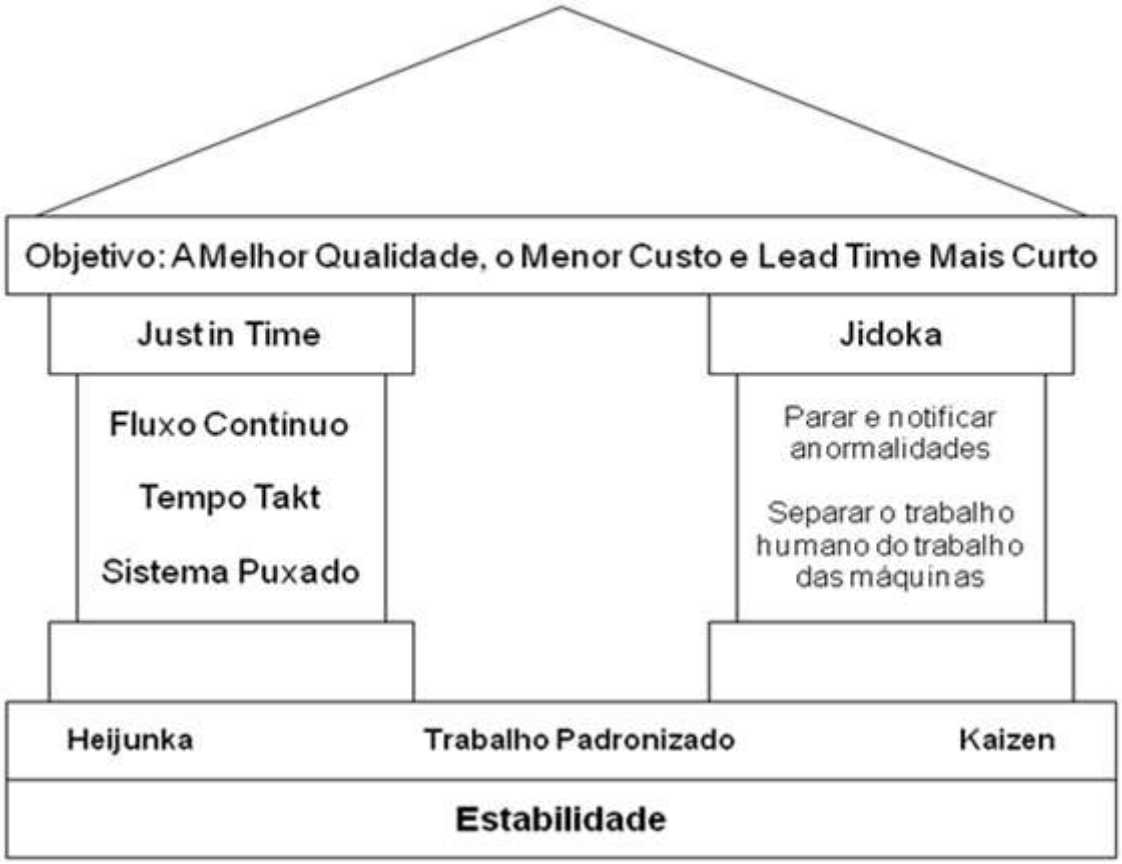

Figura 2.8 Casa do Sistema Toyota de Produção (LEAN INSTITUTE BRASIL, 2007)

2.2.2 O Conceito do *Lean Production*

O termo *Lean* foi cunhado pela primeira vez com o intuito de representar o modelo diferenciado do Sistema Toyota de Produção no livro "A máquina que mudou o mundo" (WOMACK, JONES, & ROSS, 1990). Este livro é resultado da realização de uma pesquisa de *benchmarking* dos meios produtivos aplicados por automobilísticas. Já havia muito interesse por parte principalmente das indústrias dos Estados Unidos da América em relação ao sistema japonês de produção, porém o que a pesquisa mostrou é que mesmo dentre as japonesas a *Toyota Motor Corporation* possuía diferenciais significativos.

Este sistema inicialmente foi apresentado como *Lean Production* (Produção Enxuta) em contrapartida ao sistema mais conhecido o de Produção em Massa. A intenção foi justamente expor a principal diferença entre estes sistemas fazendo uso do termo enxuto com o significado de "sem gordura", isto é, isento de excessos (desperdícios).

A Produção em Massa seria a primeira revolução automobilística e a Produção Enxuta a segunda (WOMACK, JONES, & ROSS, 1990). Antes da Produção em Massa havia o sistema de Produção Artesanal que possuía as seguintes características:

- Uma força de trabalho altamente qualificada em projeto, operação de máquinas, ajuste e acabamento. Abrangendo todo um conjunto de habilidades artesanais.
- Organizações extremamente descentralizadas. A maioria das peças e grande parte do projeto do automóvel provinham de pequenas oficinas.
- O emprego de máquinas de uso geral para realizar a perfuração, corte e demais operações em metal ou madeira.
- Um volume de produção baixo, de mil ou menos automóveis por ano, poucos dos quais (cinquenta ou menos) conforme o mesmo projeto.

A Produção em Massa por sua vez teve Henry Ford como um dos grandes difusores e desenvolvedores. A chave para a produção em massa não residia – conforme muitas pessoas acreditavam ou acreditam – na linha de montagem em movimento contínuo. Pelo contrário, incidia na completa e consistente intercambiabilidade das peças e na facilidade de ajustá-las entre si. Estas foram as inovações que tornaram a linha de montagem possível. Tomados conjuntamente, a intercambiabilidade, simplicidade e facilidade de ajuste proporcionaram a Ford tremendas vantagens em relação aos competidores. Ford pôde eliminar os ajustadores qualificados, que sempre haviam constituído a maior parcela da força de trabalho de montagem (WOMACK, JONES, & ROSS, 1990).

Uma das características marcantes da Produção em Massa era a força de trabalho onde os operadores recebiam em geral apenas uma única tarefa para ser repetida continuamente e que poderia ser aprendida em pouco tempo, não exigindo assim uma mão-de-obra muito qualificada. O trabalho de projetar as linhas e definir estas tarefas vinha do engenheiro de produção ou industrial. Faxineiros eram responsáveis pela limpeza das áreas. Mecânicos cuidavam da manutenção das máquinas. A qualidade era verificada por um especialista. Um trabalho malfeito só era descoberto no final da linha de montagem, onde outro grupo de trabalhadores desempenhava seu papel: o pessoal do retrabalho e reparos, mantendo muitas das habilidades dos antigos ajustadores. Nesse sistema, o trabalhador do chão-de-fábrica não tinha uma carreira pela frente, podendo no máximo chegar a supervisor. O avanço de cada funcionário se dava dentro da profissão (WOMACK, JONES, & ROSS, 1990).

Em relação ao produto uma das características deste sistema era o fato de produzir sempre o mesmo único modelo de automóvel. O sucesso, dos automóveis de Ford, baseava-se, antes de qualquer coisa, nos baixos preços, que não paravam de cair. Isto era resultado do aumento de volume, permitindo menores custos que, por sua vez, geravam volumes ainda maiores (WOMACK, JONES, & ROSS, 1990). Isto permaneceu como uma grande verdade e um ótimo modelo enquanto as demandas permaneciam crescendo, quando estas caíram, o modelo se mostrou incapaz de responder ao mercado.

A produção em massa de Henry Ford orientou a indústria automobilística por mais de meio século, e acabou sendo adotada em muitas atividades industriais na Europa e América do Norte. Atualmente, suas técnicas, tão arraigadas na filosofia de fabricação, estão frustrando os esforços de muitas companhias ocidentais no salto para a produção enxuta (WOMACK, JONES, & ROSS, 1990).

Conforme apresentado anteriormente, a *Toyota Motor Corporation* foi considerada a responsável pelo salto enxuto da indústria automobilística.

Salto este, que somente ocorreu devido às necessidades distintas desta empresa. A diferença de volumes produzidos entre a Toyota e a Ford em 1950 era enorme, 2685 foi a produção do ano da Toyota enquanto a Ford liberava 7000 carros por dia apenas na fábrica de Rouge (WOMACK, JONES, & ROSS, 1990).

A Ford sempre foi uma das referências para a Toyota, inclusive com visitas diretas ao sistema produtivo da Ford nos Estados Unidos da América. Mas simplesmente copiar o modelo implementado na fábrica de Rouge revelou-se difícil. Eiji Toyoda e Taiichi Ohno logo chegaram à conclusão de que a produção em massa não se adequaria às condições da indústria automobilística do Japão. Desse início experimental nasceu o que a Toyota veio a chamar de Sistema Toyota de Produção e, finalmente, a produção enxuta (WOMACK, JONES, & ROSS, 1990). Algumas das características existentes no Japão, no período pós-guerra, eram:

- O mercado doméstico era limitado, porém demandava vasta gama de veículos, desde carros pequenos, carros de luxo, caminhões grandes e pequenos.
- A força de trabalho era limitada em número. Não possuíam a mão-de-obra caracteristicamente barata de imigrantes temporários. No ocidente, ao contrário, tais indivíduos constituíam a maior parcela da força de trabalho das empresas de produção em massa.
- A economia do país, devastada pela guerra, estava ávida por capitais e trocas comerciais, sendo quase impossíveis compras maciças das tecnologias de produção ocidentais mais recentes.
- O mundo exterior estava repleto de imensos produtores de veículos motorizados, ansiosos por operarem no Japão, e dispostos a defenderem seus mercados consagrados contra as exportações japonesas.

Diante do cenário em que estava a indústria japonesa e especificamente a Toyota, alguns fundamentos de uma empresa com um sistema de produção enxuta começaram a surgir.

- A companhia como uma comunidade – a Toyota após passar pela crise da Segunda Grande Guerra teve que se reestruturar, sendo que uma das características conseguidas pelos funcionários foi a garantia de empregos vitalícios (em geral 40 anos de casa) com progressão salarial por tempo de serviço, bem como participação nos lucros da organização. Em contrapartida, precisavam ser mais flexíveis na atribuição de tarefas e ativos na busca por melhorias. Fazia, portanto, sentido aproveitar as qualificações dos trabalhadores, seus conhecimentos e experiências, e não só sua força física (WOMACK, JONES, & ROSS, 1990).
- Linha de montagem final – Ohno criou equipes de trabalho superviosionadas por um líder com responsabilidade de coordená-la bem como substituir algum trabalhador faltante. Às equipes foram atribuídas as tarefas de limpeza, pequenos reparos de ferramentas e controle de qualidade. Em conjunto com os poucos engenheiros deviam buscar realizar *kaizen* (melhorias). Quanto aos retrabalhos Ohno foi bastante radical, instituindo cordas sobre todos os postos de trabalho para que qualquer operador pudesse interromper a produção caso uma anomalia fosse detectada, e assim resolver os problemas na causa raiz aplicando o conceito dos Cinco Porquês (um método de solução de problemas) (WOMACK, JONES, & ROSS, 1990).
- A rede de fornecedores – Visando parcerias de longo prazo, os fornecedores da Toyota foram organizados em níveis funcionais. Os de primeiro nível participam integralmente do desenvolvimento de um novo produto, e devem buscar atender a um requisito de desempenho e não a um desenho previamente projetado. Os fornecedores de primeiro nível são encorajados a trocar experiências e ajudar uns aos outros (uma vez que não são concorrentes diretos). Por sua vez os fornecedores de segundo nível devem estar organizados da mesma forma para melhor atender os de primeiro nível. Para funcionar realmente como uma cadeia

interligada entre clientes e fornecedores foi aplicado o conceito do *Just-In-Time* (JIT). O mecanismo funcionava através de containeres, transportando peças de uma etapa para a outra. Cada container ao ser esvaziado, era mandado de volta para a etapa prévia, sinalizando automaticamente a necessidade de produzir mais peças (WOMACK, JONES, & ROSS, 1990).

- Desenvolvimento de produtos e engenharia – A engenharia deveria englobar, como partes inerentes, tanto a engenharia industrial como a de processos. Planos de carreira foram estruturados de modo a recompensar os que participassem ativamente das equipes, e não os que se destacassem numa área isolada da engenharia de produtos, processos ou industrial, sem se importarem com seu papel dentro da equipe.
- Lidando com o consumidor – A política de integração com os fornecedores tratando-os como parceiros da Toyota foi também estendida às revendas. Trabalhando mais diretamente com as revendas foi possível atuar como uma fábrica que produz sob encomenda, onde rapidamente partindo de um pedido do cliente este era atendido, sendo que o esforço de venda foi direcionado para a visão de médio e longo prazo baseado em dados sobre os clientes para manter suas vendas constantes (WOMACK, JONES, & ROSS, 1990).

O sistema da produção enxuta tem se mostrado, desde então, superior ao sistema de produção em massa, tanto em produtividade como em qualidade, que passaram a ser vistos como objetivos complementares. É mais eficiente porque exige menor utilização de recursos (estoques, espaço físico, tempo, esforço físico humano etc.), aproveita mais as capacidades intelectuais humanas e é capaz de atender melhor às mudanças e desejos individuais dos consumidores, oferecendo maior variedade de produtos e reduzindo o ciclo de vida dos produtos,

combinando o melhor da produção artesanal com o melhor da produção em massa. (FERRO, 1990).

2.2.3 A Filosofia Gerencial - *Lean Thinking*

Seis anos após o livro "A máquina que mudou o mundo" (WOMACK, JONES, & ROSS, 1990), surgiu em 1996 a primeira edição do livro "A Mentalidade Enxuta nas Empresas" (WOMACK & JONES, 2004) onde o conceito de *Lean Production* foi estendido às demais áreas da organização, ampliando seu enfoque inicial para sistemas de negócios das empresas. Esta ampliação da Produção Enxuta foi denominada de Mentalidade Enxuta (*Lean Thinking*) sendo inclusive apresentada uma abordagem, no livro, orientada para sua implementação nas empresas. O mercado precisava entender melhor esta nova filosofia gerencial baseada no Sistema Toyota de Produção. Depois de interações com muitas platéias e de considerável reflexão, os autores concluíram que o pensamento enxuto poderia ser resumido em cinco princípios. Entendendo claramente esses princípios e reunindo-os como um todo, os gerentes podem fazer amplo uso das técnicas de produção enxuta e manter um curso uniforme (WOMACK & JONES, 2004).

2.2.4 Os Cinco Princípios da Mentalidade Enxuta

O Pensamento Enxuto é uma forma de especificar valor, alinhar na melhor sequência as ações que criam valor, realizar essas atividades sem interrupção toda vez que alguém as solicita e realizá-las de forma cada vez mais eficaz. Em suma, o pensamento enxuto é enxuto porque é uma forma de fazer cada vez mais com cada vez menos – menos esforço humano, menos equipamento, menos tempo e menos espaço – e, ao mesmo tempo, aproximar-se cada vez mais de oferecer aos clientes exatamente o que eles desejam (WOMACK & JONES, 2004).

Estes princípios sugerem também um roteiro de implementação, o qual é difundido de forma sintetizada pelas seguintes expressões: valor, fluxo de valor, fluxo contínuo, puxar e perfeição.

2.2.4.1 Valor

O significado de valor está relacionado ao processo de identificação e satisfação das necessidades dos clientes finais, possibilitando o fornecimento de produtos que atendam a esses requisitos. Estas necessidades referem-se às exigências individuais ou sociais que devem ser satisfeitas por meio do consumo de bens e serviços.

As empresas têm muita dificuldade em definir corretamente o que é valor para seus clientes, salientando que, por um lado, falta criatividade na definição do que deve ser produzido e, por outro lado, os clientes são pouco exigentes em relação ao produto a ser adquirido. Ao definir seus produtos, muitas vezes as empresas adotam soluções simplistas – custo baixo, maior variedade de produtos e entrega imediata – em vez de estabelecer um diálogo com o cliente (WOMACK & JONES, 2004).

Outro problema diz respeito à distorção que existe entre o poder das organizações, tecnologias e ativos não depreciados preexistentes, além do pensamento obsoleto sobre economias de mercado e a definição de valor. Isso implica que muitas empresas estão produzindo o que sua estrutura física é capaz, ao invés de repensar o valor a partir da perspectiva do cliente. A conclusão é que a abordagem da Mentalidade Enxuta deve começar com a tentativa de definir precisamente valor em termos de produtos específicos com capacidades específicas oferecidas a preços específicos através do diálogo com o cliente (WOMACK & JONES, 2004).

2.2.4.2 Fluxos de Valor

Este princípio relaciona-se com a necessidade de identificar o processo de formação de valor, que pode ser relativo à cadeia produtiva, a uma fábrica ou a um processo de produção específico. Os principais fluxos são os processos de desenvolvimento do produto, planejamento e produção na formação de valor (WOMACK & JONES, 2004).

É necessário identificar o fluxo de valor inteiro para cada produto ou serviço. As empresas devem, além de analisar cuidadosamente seus próprios processos, analisar cuidadosamente os processos das demais empresas, inclusive as consequências de suas atividades internas nas demais empresas da cadeia de valor. O pensamento enxuto precisa ir além da empresa e olhar o todo, o conjunto inteiro de atividades envolvidas na criação e na fabricação de um produto específico, da concepção à sua disponibilidade, passando pelo projeto detalhado; da venda inicial à entrega, passando pelo registro do pedido, programação da produção, obtenção de matéria prima até o produto acabado nas mãos do cliente (WOMACK & JONES, 2004).

A importância de se identificar o fluxo de valor está relacionada à premissa de que, se as atividades necessárias para criar, pedir e produzir um produto não podem ser identificadas e analisadas, essas atividades não podem ser questionadas, melhoradas e talvez até eliminadas (WOMACK & JONES, 2004). Um dos métodos referenciais para a prática de enxergar os fluxos é realizar o mapeamento do fluxo de valor, apresentado em um manual didático, “Aprendendo a Enxergar” (ROTHER & SHOOK, 2003).

2.2.4.3 Fluxo Contínuo

Após a identificação da cadeia de valor e a análise de todo o processo de formação de valor, desde a produção das matérias primas até os serviços prestados após a venda dos produtos, deve-se introduzir modificações no processo de produção de forma que estes possam ocorrer em fluxo contínuo (WOMACK & JONES, 2004).

Surgem algumas barreiras para se implementar fluxo, sendo a primeira a dificuldade em enxergar e compreender o fluxo de valor. Superada essa barreira inicial, os referidos autores salientam a ocorrência de problemas de natureza técnica: *layout* de fábricas organizadas por departamento; máquinas com grande capacidade de produção, pouca mobilidade e dificuldade de se adaptarem a mudanças na demanda; problemas de manutenção de equipamentos, entre outros.

Em função dessas dificuldades existem algumas recomendações para a obtenção de fluxo contínuo: deve-se focalizar no objeto real (o projeto específico, o pedido específico, e o produto específico); ignorar as fronteiras tradicionais de tarefas, profissionais, funções (frequentemente organizados por departamento) e empresas; e repensar as práticas e ferramentas específicas de trabalho, a fim de eliminar os retrabalhos e as paralisações. Na Mentalidade Enxuta, o conceito de fluxo contínuo deve ser estendido para a cadeia de valor da empresa, ou seja, para os processos de desenvolvimento do produto, planejamento e produção (WOMACK & JONES, 2004).

A implementação de sistemas de produção com processos em fluxo contínuo causa impacto direto no *lead time* (WOMACK & JONES, 2004). O *Just-In-Time* (JIT) apenas é possível com a redução desse tempo.

2.2.4.4 Puxar

A capacidade de desenvolver, produzir e distribuir rapidamente seus produtos torna as empresas capazes de atender às necessidades dos clientes mediante solicitação (WOMACK & JONES, 2004). Isso permite inverter o fluxo produtivo: as empresas não mais empurram os produtos para o consumidor, mas este é que passa a puxar a produção, eliminando estoques de produtos acabados. Na abordagem da Mentalidade Enxuta o sistema de produção puxado significa que os processos posteriores sinalizam aos processos anteriores sobre suas necessidades de produção. Através deste sistema, tenta-se eliminar os desperdícios associados à superprodução.

Os autores chamam a atenção sobre a confusão que existe entre o mecanismo usado para puxar a produção, como, por exemplo, o *Kanban* (vocábulo japonês para cartão) usado muitas vezes como sinônimo, equivocadamente, do planejamento e controle JIT, ou até de todo o sistema JIT (WOMACK & JONES, 2004). O *Kanban* é um dos elementos do JIT, assim, é um método de operacionalizar o sistema de planejamento e controle puxado, sendo algumas vezes chamado de "correia invisível", que controla a transferência de material de um estágio a outro da operação (SLACK, CHAMBERS, HARLAND, HARRISON, & JOHNSTON, 1997).

2.2.4.5 Perfeição

A perfeição está relacionada com a melhoria contínua (*Kaizen*), através do constante esforço de todos os envolvidos no sistema na redução de qualquer tipo de desperdício (WOMACK & JONES, 2004).

A busca pela perfeição tem um papel importante à medida que, após as implementações dos outros princípios, as empresas percebem que o processo de redução de esforço, tempo, espaço, custos e erros é enorme. Paradoxalmente, não existe perfeição: Assim que uma melhoria é introduzida, alcançando a eliminação de determinados desperdícios, pode-

se iniciar esforços para eliminar outros desperdícios (WOMACK & JONES, 2004).

Os quatro princípios anteriores interagem entre si e, quanto mais se tenta implementá-los, mais os desperdícios ocultos são expostos e passíveis de serem eliminados. A transparência constitui-se num estímulo importante à busca da perfeição, ou seja, o gerenciamento visual deve tornar os padrões de trabalho visíveis, facilitando a identificação de desvios em relação aos mesmos (WOMACK & JONES, 2004).

2.2.5 Just-In-Time

Sistema de produção que produz e entrega apenas o necessário, quando necessário e na quantidade necessária. O JIT e o *Jidoka* são os dois pilares do Sistema Toyota de Produção. O JIT baseia-se no *Heijunka*, e é formado por três elementos operacionais: o tempo *Takt*, o fluxo contínuo e o sistema puxado.

O *Heijunka* é o nivelamento do tipo e da quantidade de produção durante um período fixo de tempo. Permitindo que a produção atenda eficientemente às exigências do cliente, ao mesmo tempo em que evita excesso de estoque, reduz custos, mão-de-obra e *Lead Time* de produção em todo o fluxo de valor. O *Lead Time* é o tempo requerido para um produto se movimentar por todas as estapas de um processo, do início ao fim, por este motivo também é conhecido como tempo de atravessamento.

O JIT tem por objetivo a total eliminação dos desperdícios para atingir a melhor qualidade possível, o custo mais baixo possível, o menor tempo de produção e o menor *Lead Time* de entrega. Embora simples como princípio, o JIT requer disciplina para que seja implementado eficazmente (LEAN INSTITUTE BRASIL, 2007).

2.2.5.1 Tempo *Takt*

É o tempo disponível para a produção dividido pela demanda do cliente.

Por exemplo, se uma fábrica opera 480 minutos por dia e a demanda do cliente é de 240 unidades diárias, o tempo *Takt* é de dois minutos. Do mesmo modo, se os clientes desejam dois novos produtos por mês, o tempo *Takt* é de duas semanas. O objetivo do tempo *Takt* é alinhar a produção à demanda, com precisão, fornecendo um ritmo ao sistema de produção. É a "batida do coração" de um sistema *Lean*.

Takt é um termo alemão que se refere a um intervalo preciso de tempo como, por exemplo, na regência de uma orquestra. O tempo *Takt* foi usado pela primeira vez como ferramenta de gerenciamento de produção na indústria aeronáutica alemã na década de 1930. Este tempo era o intervalo em que aeronaves consecutivas eram transportadas à estação de produção seguinte. O conceito foi largamente utilizado na Toyota na década de 1950 e seu uso já estava completamente difundido na cadeia de fornecedores da empresa na década seguinte (LEAN INSTITUTE BRASIL, 2007).

2.2.5.2 Fluxo Contínuo

Produzir e movimentar um item por vez (ou um lote pequeno de itens) ao longo de uma série de etapas de processamento, continuamente, sendo que em cada etapa se realiza apenas o que é exigido pela etapa seguinte.

O fluxo contínuo pode ser conseguido de várias maneiras, desde a utilização de linhas de montagem até a utilização de células manuais. Também é chamado de fluxo de uma peça ou fluxo de uma só peça (*one piece flow*) (LEAN INSTITUTE BRASIL, 2007).

Uma das publicações existentes para facilitar o entendimento e ajudar na obtenção de um fluxo mais contínuo é "Criando Fluxo Contínuo" (ROTHER & HARRIS, 2002).

2.2.5.3 Sistema Puxado

Um fluxo de valor deve atender às necessidades de um cliente final, porém quando olhamos dentro deste fluxo de valor encontraremos uma cadeia de relações de clientes e fornecedores internos.

Um Sistema Puxado é um método de controle da produção em que o processo cliente avisa o processo fornecedor sobre suas necessidades. Por meio da produção puxada tenta-se eliminar a produção em excesso. Trata-se de um dos três componentes principais de um sistema de produção *Just-In-Time* completo.

Na produção puxada, o processo cliente, seja interno ou externo, fornece informações ao processo fornecedor, geralmente por meio de cartões conhecidos como *Kanban*; Estes cartões informam quais partes e materiais são necessários, a quantidade necessária, e quando e onde é necessário. Nada é produzido pelo processo fornecedor sem que o cliente tenha apontado a necessidade. É o oposto da produção empurrada (LEAN INSTITUTE BRASIL, 2007).

Para auxiliar o desenvolvimento de sistemas puxados e sistemas de fluxo de materiais foram criados os seguintes manuais de implementação: "Criando o Sistema Puxado Nivelado" (SMALLEY, 2004) e "Fazendo Fluir os Materiais" (HARRIS, HARRIS, & WILSON, 2004).

2.2.6 Jidoka

Fornecer às máquinas e aos operadores a habilidade de perceber quando uma condição anormal ocorreu e interromper imediatamente o trabalho. Isso possibilita que as operações construam a qualidade do produto em cada etapa do processo e separa os homens das máquinas para um trabalho eficiente. *Jidoka* é um dos dois pilares do Sistema Toyota de Produção, junto com o *Just-In-Time*.

Jidoka chama a atenção para as causas dos problemas, pois o trabalho é interrompido imediatamente quando um problema ocorre. Isso leva a melhorias no processo de garantia da qualidade, eliminando as causas-raiz dos defeitos.

Jidoka é, às vezes, chamado de autonomação, significando automação com inteligência humana. Isso porque se dá aos equipamentos a capacidade de distinguir peças boas de peças ruins autonomamente, sem precisar do monitoramento de um operador. Elimina-se assim a necessidade dos operadores observarem continuamente. Isso possibilita um grande aumento de produtividade, pois um mesmo funcionário pode operar diversas máquinas, o que é comumente chamado de manuseio de múltiplos processos.

Uma ferramenta diretamente associada ao *Jidoka* é o *Andon*. O *Andon* é justamente a ferramenta de gerenciamento visual que mostra o estado das operações em uma área e avisa (sinaliza) quando um processo detecta uma anomalia.

A busca da qualidade faz parte do conceito *Lean*, por este motivo foram desenvolvidos métodos que auxiliam o operador a evitar erros em seu trabalho, tais como escolha de uma peça errada, montagem incorreta de uma peça ou esquecimento de um componente. A estes métodos ou dispostivos se denominam de *Poka-Yoke* (à prova de defeitos) ou *Baka-Yoke* (à prova de bobeiras).

O conceito de *Jidoka* surgiu no início do século XX, quando Sakichi Toyoda, fundador do grupo Toyota, inventou um tear com parada automática em caso de rompimento do fio. Antes disso, se um fio quebrasse, o tear continuaria funcionando e o resultado seria grandes quantidades de tecido com defeito. Assim, era necessário o constante monitoramento das máquinas por um operador. A inovação de Toyoda permitiu que um operador controlasse muitas máquinas. Em japonês, *Jidoka* é uma palavra criada pela Toyota e sua pronúncia é exatamente da

palavra japonesa para automação (e sua escrita em *Kanji* é quase a mesma), mas com conotações humanísticas e foco na criação de valor (LEAN INSTITUTE BRASIL, 2007).

2.2.6.1 Gerenciamento Visual

É a colocação de todas as ferramentas, peças, atividades de produção e indicadores de desempenho do sistema em local fácil de ver, de modo que a situação real possa ser entendida rapidamente por todos os envolvidos, de preferência em tempo real (LEAN INSTITUTE BRASIL, 2007).

2.3 INICIATIVAS *LEAN* EM INDÚSTRIAS DE PRODUÇÃO POR PROJETO

Existem argumentos que a indústria naval apresenta características tão distintas que poderiam impedir a implementação da Mentalidade Enxuta. A intenção desta seção é mostrar que muitas destas características estão presentes também em outras indústrias e setores produtivos. Sendo que alguns exemplos, que já iniciaram suas iniciativas *Lean*, foram escolhidos para ilustrar este argumento. Portanto, mesmo que estas características específicas venham a dificultar a absorção desta filosofia, não são impeditivas.

Tabela 1 – Indústrias com características semelhantes à naval

	Naval	**Aeronáutica**	**Construção Civil**	**Projetos sob encomenda**
Projeto adaptado às necessidades do cliente	SIM	SIM	SIM	SIM
Tempo *Takt* Longo (semanas ou mais)	SIM	Normalmente NÃO	SIM	SIM
Montagem Posicional	SIM	Normalmente SIM	SIM	SIM
Poucos Produtos em Série	SIM	Moderado	SIM	SIM
Componentes de Fibra e Compósitos	Alguns	SIM	NÃO	Normalmente NÃO
Peças de grande porte (toneladas)	SIM	SIM	SIM	SIM

As situações produtivas distintas escolhidas, conforme apresentado na Tabela 1, para o estudo foram as seguintes: poucos produtos fabricados por série; projetos adaptados às necessidades do cliente; processos de montagem posicionais; processos com peças construídas em fibras e compósitos; tempo *Takt* longo (semanas ou mais); componentes de grande porte (toneladas). As indústrias selecionadas para a comparação apresentada pela Tabela 1 foram: indústria aeronáutica; indústria de construção civil; indústrias de grandes projetos sob encomenda (com grande envolvimento de engenharia de produto).

2.3.1 *Lean* na Indústria Aeronáutica

Algumas iniciativas *Lean* na indústria aeronáutica iniciaram logo após o lançamento do livro "A Máquina que Mudou o Mundo" (WOMACK, JONES, & ROSS, 1990). Uma destas iniciativas ocorreu através da parceria de empresas privadas, governo (americano) e o *Massachusetts Institute of Technology* (MIT no EUA), foi denominado *Lean Aerospace Initiative* (LAI) em 1998. Dezenas de trabalhos específicos de aplicação foram realizados através destes esforços (LEAN AEROSPACE INITIATIVE, 2004). Conforme a expansão dos trabalhos e inclusão de novas áreas de pesquisa a iniciativa sofreu, em 2007, uma alteração do nome, sem alterar a sigla, *Lean Advancement Initiative* (LAI) (MURMAN, 2008).

Algumas empresas pertencentes ao LAI que apresentam estas iniciativas Lean com seus respectivos programas de implementação são: *Boeing, Lean+; Pratt & Whitney, ACE; Lockheed, LM21; Rockwell Collin, Lean Electronics; USAF, AFSO21; NAVAIR, AIRSpeed* (MURMAN, 2008).

2.3.1.1 Embraer

A Embraer (Empresa Brasileira de Aeronáutica S.A.) é uma das maiores empresas aeroespaciais do mundo. Existe há 39 anos com experiência em projeto, fabricação, comercialização e pós-venda. A Empresa já produziu

cerca de 4.995 aviões, que hoje operam em 78 países, nos cinco continentes. A Embraer foi a maior exportadora brasileira entre os anos de 1999 e 2001, e foi a segunda maior empresa exportadora nos anos de 2002, 2003 e 2004. Atualmente sua força de trabalho totaliza mais de 23.509 empregados, 87,7% baseados no Brasil (EMBRAER, 2009)."

A Embraer vem atuando ativamente segundo os princípios *Lean* através de iniciativas da visão do P3E (Programa Embraer de Excelência Empresarial). Algumas áreas chave da produção foram escolhidas para iniciarem um projeto piloto de implementação e já estão obtendo bons resultados, são elas (PELLEGRINI, 2008): cablagem (área responsável por preparação de toda a fiação da aeronave); tubulação (onde são manufaturados os tubos utilizados na aeronave); material composto (produção das peças de fibra); processo de montagem da asa das aeronaves (modelos E170 e E190); processo de tratamento de superfícies; etapa de montagem final das aeronaves (modelos E170, E190, Legacy e Phenom).

Alguns resultados publicados das iniciativas *Lean* realizadas entre 2007 e 2008 estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Resultados das iniciativas Lean *de 2007 até 2008*

Área	**Ganho de Área (m²)**	**Ganho de Produtividade**	**Ganho de Qualidade**
Cablagem	452	83%	52%
Tubulação	110	80%	-
Material Composto	50	60%	-
Usinagem	-	55%	-
Estrutura	850	20%	39%
Montagem Final (Modelo Legacy)	500	30%	43%
Montagem Final Modelos (E170/190)	2.075	44%	20%

(PELLEGRINI, 2008)

2.3.2 *Lean* em Indústrias de Projetos Sob Encomenda

Em grandes projetos sob encomenda o envolvimento do cliente com o processo de desenvolvimento é extremamente intenso quando comparado ao grau de envolvimento observado em outras indústrias. Os requisitos do cliente final precisam ser interpretados e trabalhados, em geral, por um grupo de engenheiros que irão adaptar os produtos (ou até criar) da companhia às suas necessidades. Devido a esta característica, um ritmo de trabalho constante e a busca por um bom fluxo contínuo se tornam grandes desafios rumo a uma empresa mais *Lean*.

A complexidade e *Lead Time* longo, muitas vezes, fazem parte do contexto deste tipo de empresa e devido aos seus produtos serem tipicamente de grande porte qualquer erro tem impacto de grandes proporções, portanto a qualidade é chave.

O papel fundamental do pedido do cliente, as especificações de produto de um cliente distinto, as incertezas do produto e da produção são características de um projeto de engenharia sob encomenda e diferem substancialmente dos meios de planejamento e produção convencionais (BERTRAND & MUNTSLAG, 1993).

2.3.2.1 Voith Paper

A história da Voith Paper Brasil teve início em 1964 com a fundação da Voith S.A. Máquinas e Equipamentos, a primeira unidade de produção do grupo instalada no continente Americano. Atualmente é composta por cerca de 1000 colaboradores, sendo 172 deles graduados em engenharia. O seu produto é a engenharia de aplicação, projeto, fabricação, montagem, comissionamento, *start up* (início da produção de papel) e pós *start up* (após o início da produção de papel) de Máquinas de Papel (inclusive sua estrutura completa), Cilindros Secadores (equipamento utilizado para remover a água existente no papel durante sua preparação), Rolo Guia (equipamento utilizado para direcionar e

transportar o material sendo processado), Máquinas Desaguadoras de Celulose, Caixas de Entradas (equipamento aonde é colocada a celulose com água no início do processo) e Rebobinadeiras (equipamentos que bobinam papel) (VOITH PAPER, 2009).

Fazem parte do negócio da empresa produtos *Make-to-Order* (produzido sob encomenda), *Engineering to Order* (desenvolvido sob encomenda), *Capital Equipment* (bens de capital). A grande característica é a alta variedade de produtos e o seu baixo volume, sendo trabalhados no formato de *Job Shop* (*Lay Out* por Processos).

A jornada *Lean* nesta empresa iniciou com a segmentação da manufatura através da definição das famílias de produtos por similaridade de processos e equipamentos. Foram realizadas atividades em busca da criação de fluxo com dedicação de recursos e planejamento por família de produtos que foi internamente denominado de *Pipeline.* Foi identificado um gargalo por linha de produto em busca da inserção de um *Pacemaker* (determinação de um ritmo de trabalho). Em seguida houve o nivelamento da produção através de trabalhos realizados na carteira de pedidos, inclusive na previsão de novos negócios. O conceito de *One Piece Flow* (fluxo de uma peça) foi adaptado inicialmente para *One Project Flow* (fluxo de um projeto). Após estas ações veio a busca pela implementação efetiva do ritmo de trabalho baseado no tempo *Takt* (MASSERA & VOTTO, 2008).

Na Tabela 3 são apresentados alguns resultados tangíveis da jornada *Lean* da Voith Paper no Brasil.

Tabela 3 – Resultados do Lean na Voith Paper

	Capacidade Anual	**Tempo *Takt***	**Lead Time**	**Produtividade**
Rolos Secadores	350	18 horas	Antes: 30 dias Depois: 10 dias	Antes: 17 operadores Depois: 11 operadores
Rolos Guias	750	6 horas	Antes: 12 semanas Depois: 3 semanas	30% Solda 30% Prensa 20% Usinagem
Caixa de Entrada	24	120 horas ou 3 semanas	Antes: 30 dias Depois: 10 dias	Antes: 18 operadores Depois: 10 operadores
Estrutura	6 projetos	8 semanas	Antes: 30 dias Depois: 10 dias	----------

(MASSERA & DOLATA, 2006)

Na perspectiva da organização houve uma maior transparência no fluxo de manufatura criando uma condição de melhor previsibilidade e confiabilidade nos prazos de entrega e redução do esforço de gerenciamento deste fluxo. Não há mais a necessidade do planejamento fino (desde agosto de 2004). O conhecimento dos pontos críticos e dos

desperdícios das linhas permitiu melhorar o balanceamento das atividades entre os operadores das células de trabalho e a redução dos estoques em processo na fábrica liberando mais espaço e consequentemente menor movimentação. Na sequencia foi possível iniciar o *Just-In-Time* com fornecedores (MASSERA & DOLATA, 2006).

Entre os funcionários se firmou a cultura da padronização (com ações na rotina da mão-de-obra direta e indireta) e a mudança de um perfil reativo para um perfil pró-ativo (prevenção). Nesta transformação foi fundamental a preparação das pessoas para multifuncionalidade e resolução de problemas (MASSERA & DOLATA, 2006).

2.3.3 *Lean* na Indústria de Construção Civil

Uma iniciativa *Lean* na construção civil que vem concentrando muitos esforços é o *International Group for Lean Construction* (IGLC), fundado em 1993. O IGLC é uma rede de profissionais e pesquesadores de arquitetura, engenharia e construção que buscam uma renovação das práticas, educação e pesquisas para responder às necessidades dos desafios que ainda estão por vir. Todo ano são realizadas conferências com dezenas de estudos publicados (IGLC, 2009).

Um exemplo são os estudos sobre fluxo contínuo e principalmente o que impede que isto ocorra, são fundamentais para redução do tempo de construção e do capital necessário para manter uma obra. Muitas vezes devido às ineficiências do sistema de informação, consequência da natureza complexa de uma obra, existem excessos de estoques em processo (CHIN, 2009).

Outro exemplo são as iniciativas de utilização de módulos no desenvolvimento e construção. Tem resultado em prédios que tanto atendem às necessidades distintas dos clientes quanto reduzem o tempo de projeto e engenharia envolvido nesta fase anterior à construção. Os ganhos através da padronização se tornam significativos por todas as

fases da obra e principalmente nas diversas obras seguintes, uma vez que se podem repetir as técnicas e soluções de processos já conhecidas (JENSEN, HAMON, & OLOFSSON, 2009).

A comparação entre a indústria de construção civil e a de construção naval já foi discutida em um artigo de autores noruegueses, que apontaram as possibilidades de aproveitamento dos conceitos *Lean*, já bem desenvolvidos na construção civil, para ajudar a construção naval, onde a sua difusão ainda está incipiente. A preocupação dos autores é que a lista específica de ferramentas utilizadas na construção civil deva ser ajustada às peculiaridades da indústria naval antes de sua utilização (DUGNAS & OTERHALS, 2008).

2.3.3.1 C. Rolim Engenharia

C. Rolim Engenharia Ltda. é uma das empresas do grupo C. Rolim. A construtora atua tanto em obras industriais como residenciais na cidade de Fortaleza/CE. Em busca da evolução contínua de seus processos e do atendimento às necessidades de seus clientes, a C. Rolim Engenharia adotou a filosofia *Lean* como um referencial para o seu Sistema de Gestão. Nesse sentido, ações como a adoção de um sistema de PCP hierarquizado (com uso de linhas de balanço), produção puxada, aculturação *Lean* dos fornecedores, a utilização de *Andon, Kanban, Poka-Yoke*, além da ênfase em práticas que favoreçam o fluxo contínuo e a transparência no processo produtivo, tem permitido a empresa minimizar os desperdícios, aumentar sua capacidade de produção, melhorar a coordenação de seus processos e principalmente agregar valor para seus clientes.

Desde 2004, C. Rolim Engenharia aplica os conceitos do Sistema Toyota de Produção baseado no *Lean Construction*, filosofia de gestão de processos na construção civil. Isso significa construir nos mais avançados padrões tecnológicos, eliminando desperdícios, aumentando a capacidade

de produção, gerando maior qualidade e garantindo prazos de entrega dos empreendimentos. (C. ROLIM, 2009)

Alguns resultados práticos já obtidos através das iniciativas *Lean* foram as reduções de desperdícios na obra (cultura do não-desperdício), redução dos retrabalhos e das interrupções no fluxo, através de definições das melhores sequências dos processos bem como a melhor coordenação das etapas na obra. Houve também por consequência um aumento de eficiência dos processos e assim um ganho na capacidade do sistema produtivo. O aumento da transparência dos processos permitiu uma maior efetividade dos controles (principalmente de prazos). Algo que aumentou significativamente a motivação dos funcionários foi que através de parte das reduções de custos foi possível aumentar os salários (NOVAES, 2008).

2.4 INICIATIVAS *LEAN* NA INDÚSTRIA NAVAL

Os trabalhos mais explícitos encontrados sobre *Lean* na indústria naval estão ligados ao *Lean Shipbuilding Initiative* (LSI) organizado pelo *National Shipbuilding Research Program* (NSRP). O NSRP foi criado para reduzir o custo de construção e manutenção das embarcações militares da marinha americana, é uma colaboração de 12 grandes estaleiros americanos (SELF, 2002). Partindo das necessidades militares americanas o *Lean* tem sido identificado como uma base fundamental para o bom funcionamento das operações dos estaleiros que fornecem as embarcações (COMSTOCK, 2002). Estes esforços da indústria americana chamaram atenção de outros mercados inclusive a indústria canadense (LEAN ADVISORS INC., 2003). A aplicabilidade do Lean para a indústria naval também é levantada no *Ship Design & Construction* (INTERNATIONAL GROUP OF AUTHORITIES, 2003) quando apresentando os processos de construção naval.

2.4.1 Modelo *Lean* para a Indústria Naval

Entre os trabalhos do LSI, o mais completo trabalho, realizado com o objetivo de servir de guia de implementação, é o de Jeffrey K. Liker junto com Thomas Lamb.

O guia apresenta os seguintes elementos (LIKER & LAMB, 2001):

- O que é *Lean* – Onde são explicitadas as origens, objetivos, porque se tornar *Lean* e o modelo *Lean* para a indústria naval. Em relação ao conceito de Valor e Desperdício é possível analisar o fluxo de um estaleiro sob esta visão, conforme apresentado na Figura 2.9. A busca é atingir o que os autores chamam de Construção Naval de Classe Mundial através dos conceitos *Lean*.

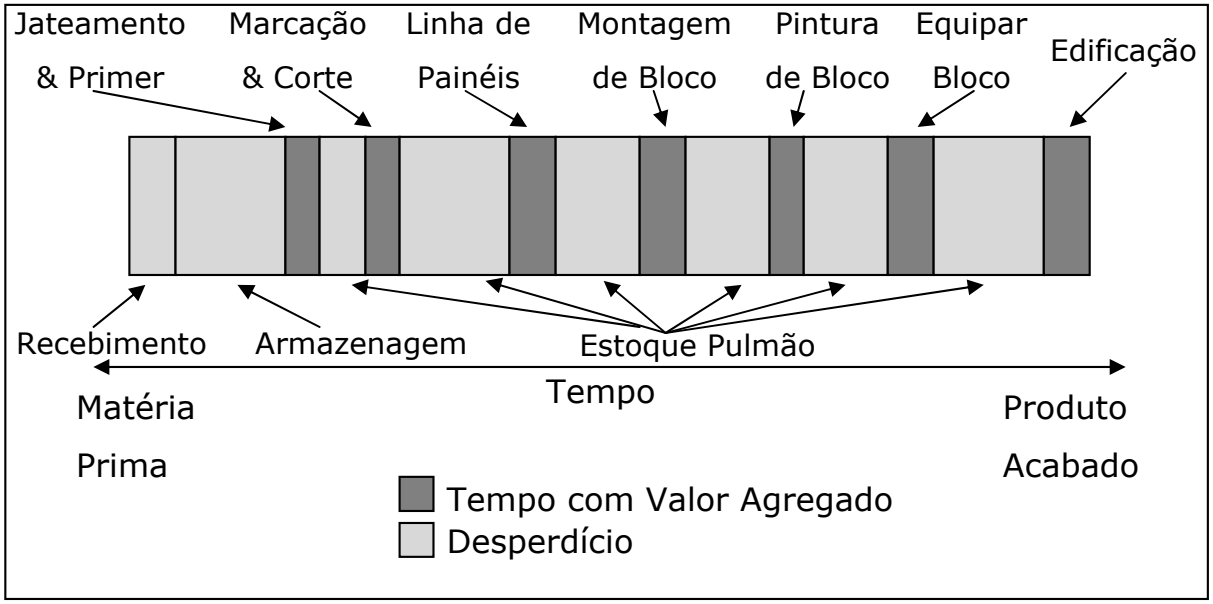

Figura 2.9 Valor e Desperdício no fluxo de um estaleiro (LIKER & LAMB, 2001)

- *Just-In-Time* – Os conceitos deste pilar do Sistema Toyota de Produção são explicados com exemplos diretos de aplicação para a indústria naval. Conceitos como Tempo *Takt*, Fluxo Contínuo e Sistemas Puxados. A idéia do fluxo de uma peça pode ser adaptada e implementada também neste ambiente naval conforme ilustrado na Figura 2.10.

  Conforme apontado em outra referência, atividades além da construção, como por exemplo, marketing, vendas, planejamento, projeto e suprimentos podem necessitar reorganizações para suportar o fluxo uniforme e contínuo da manufatura (STORCH & LIM, 1999).

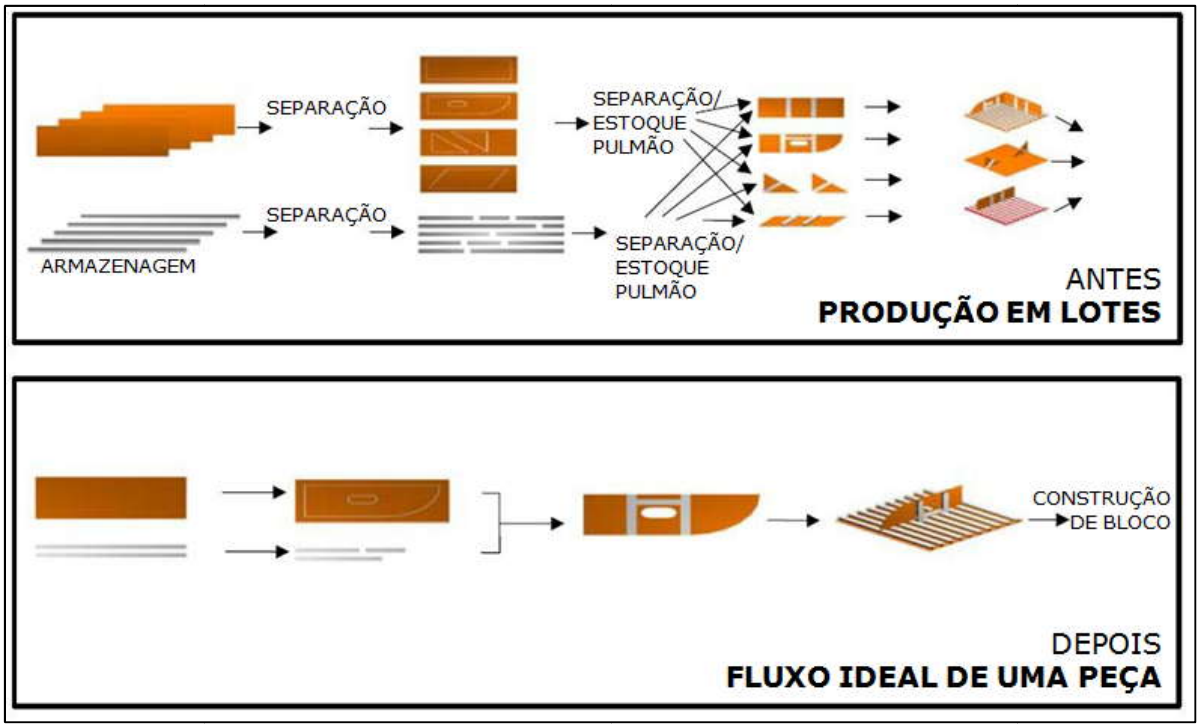

Figura 2.10 Produção em lotes e fluxo contínuo (LIKER & LAMB, 2001)

Uma etapa chave no processo de *Lean* na construção naval é a definição das famílias de produtos. Este é o conceito de agrupamento de produtos por similaridade das etapas de processos no fluxo de produção e não por departamentos de especialidades (divisão funcional). Estes departamentos são vistos como ilhas isoladas do fluxo de valor. A intenção é a dedicação de linhas em fluxo para famílias distintas de trabalho. A boa prática deste fundamento permite redução de movimentações de materiais, redução de estoques necessários, redução de atrasos e redução significativa do *Lead Time* (MAYER, IRANI, & ADRA, 2008). Este conceito aplicado pode ser visualizado na Figura 2.11.

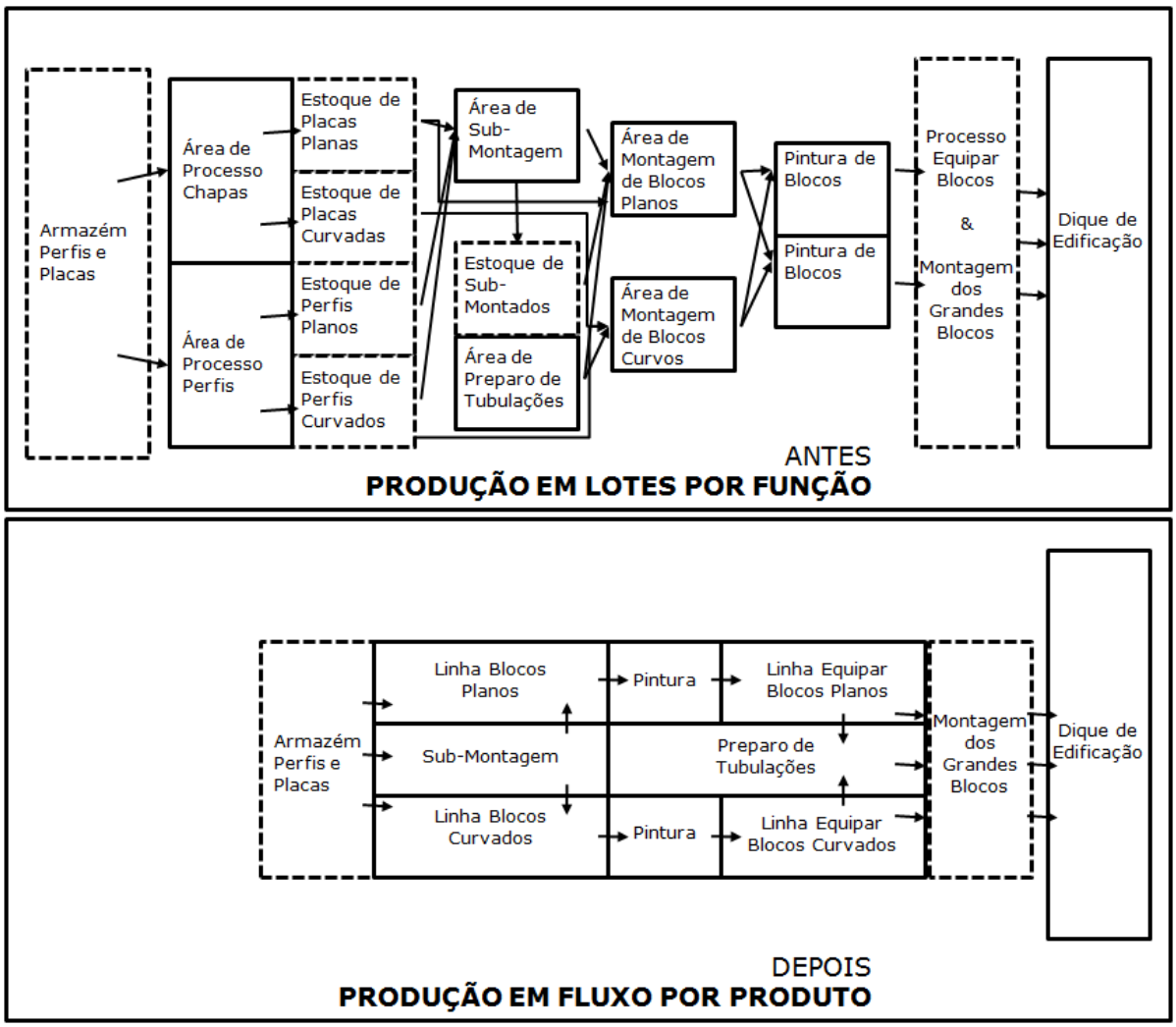

Figura 2.11 Produção por função e por fluxo de produto (LIKER & LAMB, 2001)

Uma peça fundamental deste elemento é a idéia de Cronograma-Nivelado e Balanceado, isto é, criar uma rotina de atividades o mais nivelada possível buscando atender ao Tempo Takt, um exemplo é dado na Figura 2.12.

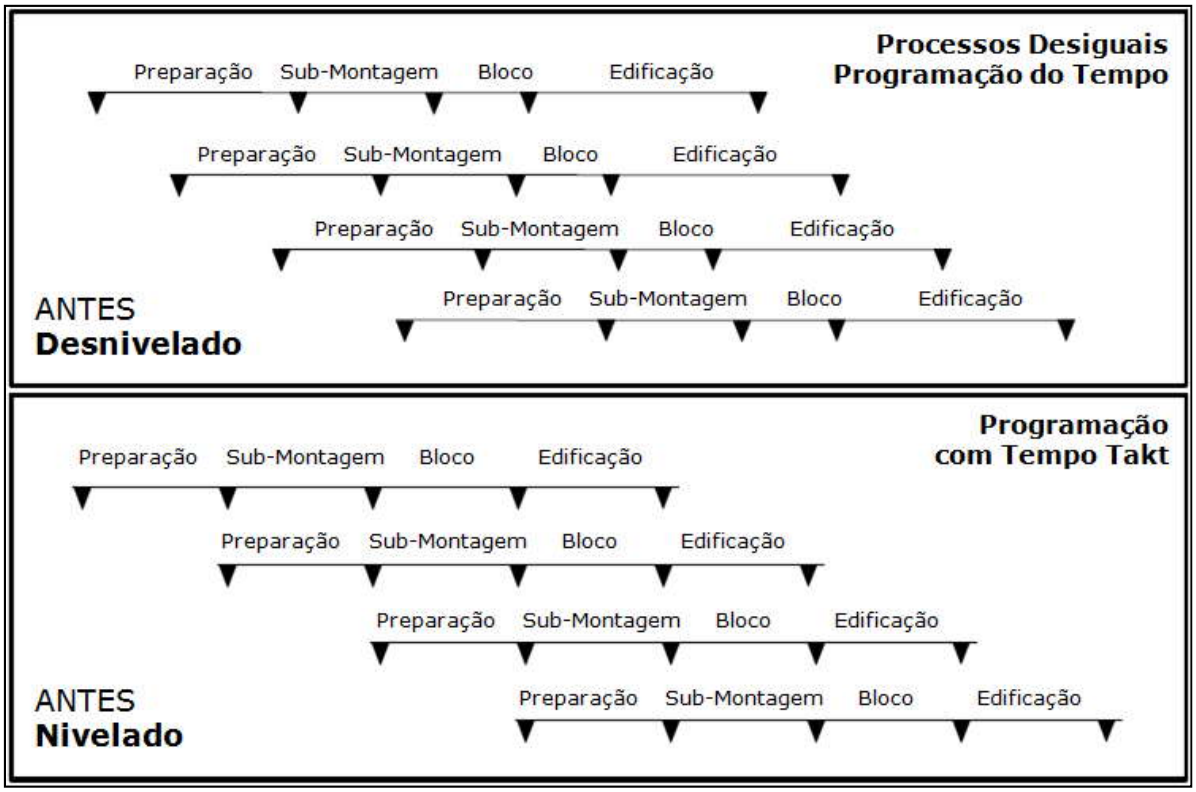

Figura 2.12 Produção com ritmo definido pelo Tempo Takt *(LIKER & LAMB, 2001)*

- Qualidade embutida – Os conceitos do pilar do *Jidoka* são considerados aqui através do balanceamento da interação homem-máquina bem como por meio do controle e garantia da qualidade na fonte.
- Integração da Cadeia de Valor – Foco no cliente, integração do desenvolvimento de produtos e processos e integração da cadeia de suprimentos através de técnicas do JIT.
- Organização de aprendizagem – Grande foco nas melhorias contínuas necessárias para manter as pessoas envolvidas e o sistema sempre evoluindo.
- Processo produtivo estável – A busca por padronizações e manutenção total bem como segurança para garantir um processo estável. Conforme apresentado na Figura 2.13, podemos ver a importância de processos estáveis e confiáveis quando estamos buscando melhorar o sistema como um todo.

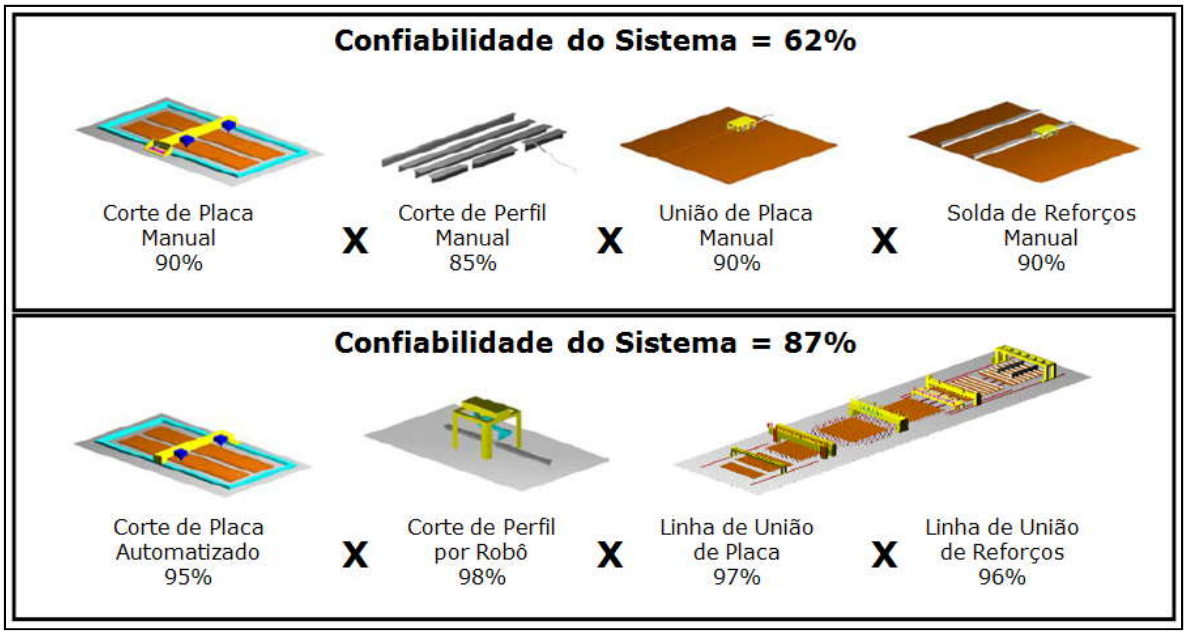

Figura 2.13 Confiabilidade individual e sistêmica (LIKER & LAMB, 2001)

O modelo sugerido para a indústria naval, conforme visto na Figura 2.14, segue basicamente os conceitos apresentados na Figura 2.8 para a ilustração da Casa do Sistema Toyota de Produção. Os autores destacam que a Casa do TPS ainda possui uma característica mais forte que a imagem proposta, que é a idéia mais clara de um sistema, onde claramente em uma casa se qualquer um dos elementos estiver faltando a casa irá desmoronar (existe o mesmo conceito na figura do estaleiro, porém não fica tão evidente), reforçando inclusive a mensagem que o *Lean* é um sistema completo e para funcionar não se pode escolher um ou outro elemento (LIKER & LAMB, 2001).

A importância de determinar um modelo específico para a indústria naval está no fato de facilitar o entendimento e a absorção dos princípios que fazem parte da Mentalidade Enxuta. Para algumas pessoas as diferenças existentes nos diferentes ambientes produtivos representam bloqueios naturais para o bom entendimento de sua aplicação. Através desta representação visual possuímos então um ponto de partida para avaliação das condições existentes nos estaleiros.

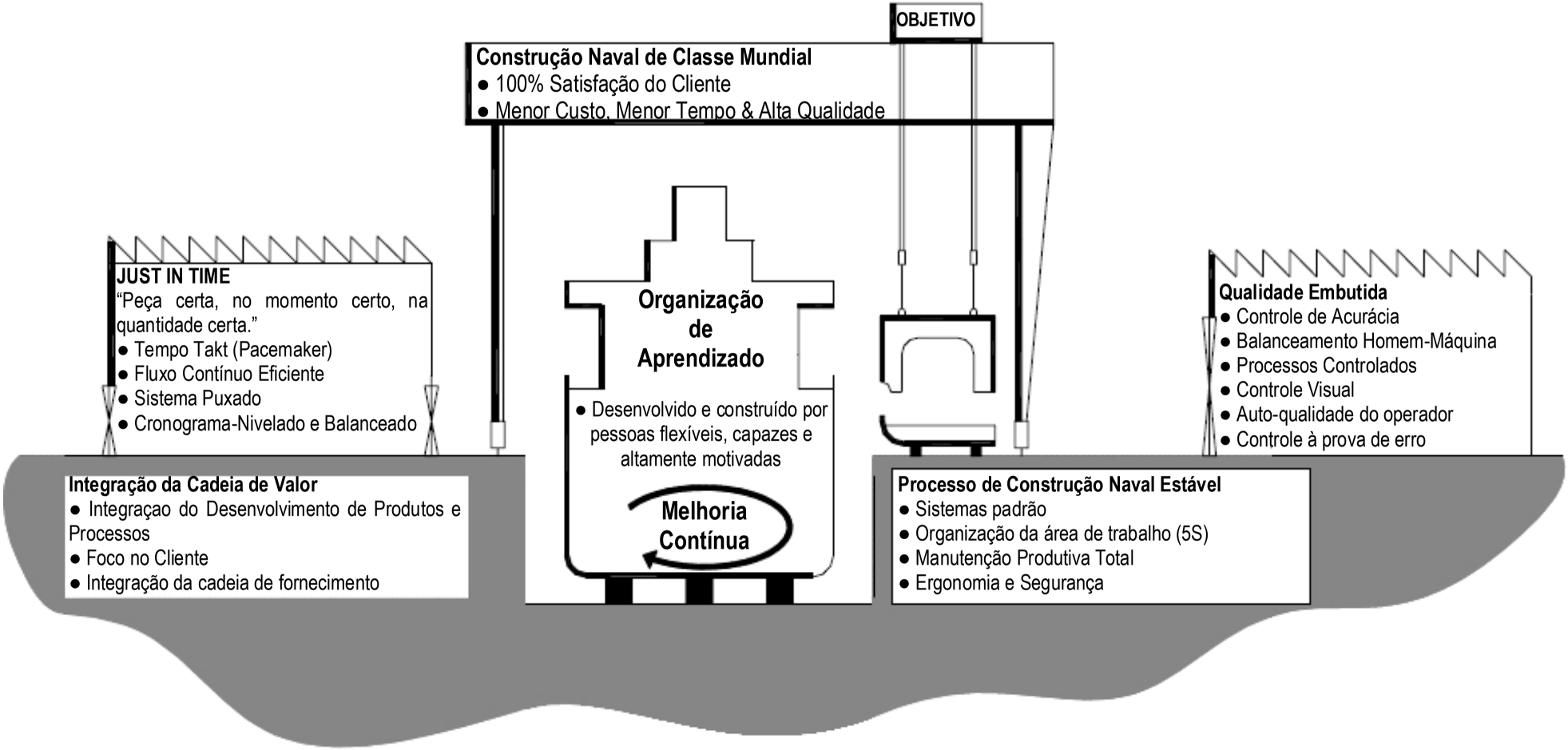

Figura 2.14 Modelo de Estaleiro Lean *para indústria naval (LIKER & LAMB, 2001)*

2.4.2 Exemplos de Resultados Já Obtidos

2.4.2.1 Grupo *Northrop Grumman*

Um dos estaleiros americanos, NGSS (*Northrop Grumman Ship Systems*) *Avondale Operations* envolvidos com o NSRP já conquistou alguns resultados com aplicação dos conceitos de células de trabalho na construção dos blocos, conforme apresentado no fórum "*Lean Shipbuilding & Repair*" de 2002. Os números demonstram uma redução de 65% no *Lead Time* da construção de blocos de 103 dias para 36 dias (OPTIPRISE, 2002).

Um dos resultados obtidos com as iniciativas de fluxo contínuo foi a conclusão de 100% das preparações de blocos antes da fase de edificação (ganho direto de tempo desta etapa crítica), sendo que antes não atingiam 60%. Também foi liberado mais espaço no estaleiro devido à redução dos estoques permitindo que o trabalho aconteça em posições melhores. Uma consequência direta foi o aumento do fluxo de caixa. Esta nova organização permitiu a fabricação ao lado da montagem aumentando o controle sobre os materiais. Reduziu e até eliminou etapas de transporte, estocagem, rastreamento desnecessários, perdas, buscas, danos e reconstruções entre outras. Este controle permitiu que o gerenciamento se concentrasse criando um suporte maior nas etapas críticas. Todas estas questões criaram uma dinâmica muito maior e melhor no momento de resolver problemas, com velocidade, responsabilidades claras e consequente aumento da motivação das pessoas envolvidas (OPTIPRISE, 2002).

Em outra apresentação do mesmo grupo, *Northrop Grumman,* foi apresentado o trabalho realizado e os resultados mais corporativos (aplicação de *Lean Thinking* nas várias áreas de atuação da empresa) principalmente na forma de integração (COOL, 2002).

Alguns resultados obtidos, de 1998 até 2002, foram as reduções dos tempos de desenvolvimentos de *software* de gestão de batalha em 15%. As necessidades de Tecnologia da Informação para os sistemas de avisos militares foram reduzidos em 34%. Obtiveram uma redução média do *Lead Time* padrão dos materiais de 36 para 20 meses inclusive com forte trabalho em conjunto com a cadeia de fornecimento reduzindo a necessidade do número de fornecedores em 65%. Nos programas de desenvolvimento de produtos militares as reduções foram na ordem de 30% no *Lead Time*.

Especificamente na construção naval, em dois anos de aplicação da Mentalidade Enxuta aconteceram reduções significativas nos tempos de construção de *Bulkhead* na ordem de 57% e 77% na fabricação e preparação das tubulações. Com menos estoque e mais organização no local de trabalho, não há mais a necessidade de buscas por materiais (redução de 45min/dia por operador) e também houve reduções de perdas de consumíveis em 5%, de caminhadas em 55% e de tempos de ciclo em 28%. Os tempos também caíram significativamente em fases críticas como edificação (57%) e na montagem e preparação da ponte de comando (38%). Como resultado medido ao final, os custos totais de manufatura foram reduzidos em 27%. (COOL, 2002)

A experiência desta unidade (integrante do grupo *Northrop Grumman*) indica que o *Lean Thinking* é válido inclusive no setor naval. Responsável por parte significativa das melhorias de desempenho do grupo, o *Lean Thinking* continuará crescendo para permitir as implementações estratégicas da empresa bem como atender às necessidades dos clientes.

2.4.2.2 Estaleiro OSC de Virginia (EUA)

Foram realizadas algumas atividades de implementação do *Lean* no estaleiro OSC que fica em Virginia nos Estados Unidos da América. O

estaleiro possui um total de 1600 funcionários que produzem embarcações comerciais internacionalmente competitivas.

Através das atividades de aplicação dos princípios *Lean* foi obtido um aumento de produtividade de 50HH/CGT para 21HH/CGT. A medida HH representa quantas homens-horas são necessárias para cada *Compensated Gross Tonnage* (CGT). Com este resultado foi possível aumentar a taxa de entregas do estaleiro para quatro embarcações porta-containeres de 600 pés por ano (LAMB, et al., 2000).

3 ESTUDO DE CASOS MÚLTIPLOS DA CONSTRUÇÃO NAVAL BRASILEIRA

3.1 MÉTODO ADOTADO PARA O ESTUDO DE CASOS MÚLTIPLOS

O mercado de construção naval brasileiro é representado por alguns segmentos, entre estes existem alguns com faturamentos significativos para a economia nacional. Podemos citar: embarcações de aço de médio e pequeno porte para atendimento das necessidades industriais, apoio e suporte marítimo; embarcações de fibra para atendimento de um crescente mercado de lazer e recreação.

Desta forma foram escolhidos dois casos a serem estudados, um estaleiro de embarcações de aço e outro de embarcações de fibra. Através de visitas técnicas exploratórias e entrevistas com funcionários de cada estaleiro, foi possível levantar o perfil e principais características produtivas sob uma avaliação conforme elementos da Mentalidade Enxuta. O modelo utilizado como guia de avaliação baseia-se nos elementos apresentados na Casa do *Lean* para a indústria naval (LIKER & LAMB, 2001).

Para finalizar foi realizada uma avaliação comparativa em relação ao alinhamento, absorção e adoção dos elementos da Mentalidade Enxuta como se o estaleiro estivesse buscando atingir a excelência de uma Construção Naval de Classe Mundial.

3.2 CASO 1 – EMBARCAÇÕES DE AÇO

Este caso apresenta uma análise de um sistema de produção de uma construtora naval brasileira de embarcações de aço. Um estaleiro brasileiro de porte médio típico foi selecionado para realizarem-se os levantamentos de dados e procurou-se levantar as oportunidades de melhorias através de possíveis reduções de desperdícios.

A empresa apoiou a iniciativa do trabalho e abriu as portas para o levantamento dos dados necessários, ao trabalho, inclusive com fotos. Visitas foram realizadas para compreender o funcionamento do Estaleiro bem como o seu fluxo produtivo através de observações e entrevistas diretamente com os funcionários da empresa.

Durante as visitas foram levantados dados suficientes para desenhar o fluxo de valor desta empresa para maior compreensão de seu sistema. O mapa posteriormente foi apresentado aos responsáveis do Estaleiro X que confirmaram, após alguns questionamentos e entendimentos, a sua aderência à realidade encontrada.

Este caso foi apresentado previamente no Congresso Pan-Americano de Engenharia Naval, XX COPINAVAL em outubro de 2007 (THOMPSON & MORISHITA, 2007).

3.2.1 Apresentação do Estaleiro X

O Estaleiro X é utilizado para construção e reparos de embarcações destinadas aos segmentos de rebocagem e *offshore*. É especializado na construção de rebocadores, *Platform Supply Vessels* (PSV), barcos-patrulha, *ferry-boats* e outras embarcações de médio porte em aço. O Estaleiro X está habilitado a prestar diversos serviços de reparo e manutenção em embarcações de apoio e recreio, que incluem reparos em sistemas de propulsão, sistemas hidráulicos, sistemas elétricos, equipamentos mecânicos, reparos estruturais e acabamento.

Os equipamentos utilizados no estaleiro incluem guindastes (com capacidade de até 50 toneladas), empilhadeiras, máquina de corte CNC - Controle Numérico Computadorizado (para corte de plasma e acetileno), e outros equipamentos operacionais.

3.2.2 Observação dos Processos Produtivos

3.2.2.1 Mapa do Fluxo de Valor

Na Figura 3.1 é apresentado o Mapa do Fluxo de Valor do Estado Atual do Estaleiro X mostrando os fluxos de materiais e informações relativos à construção de uma nova embarcação. Com isso temos a visão do sistema de produção e de como ele opera.

O Mapa do Fluxo de Valor do Estado Atual apresenta graficamente o fluxo de produção do Estaleiro X, desde o pedido realizado pelo cliente, passando pelo planejamento, fornecedores de matéria prima (nacionais e internacionais), preparação externa, sub-montagem e montagem de painéis, montagem de bloco, edificação na carreira, acabamento, testes e por fim a entrega da embarcação pronta para o cliente. O *Lead Time* é atualmente de 14 meses em média, sendo que o Estaleiro X entrega três embarcações por ano, logo há sempre mais do que uma embarcação em processo por vez.

Analisando o mapa logo nota-se que há falhas principalmente no fluxo de informação onde, por exemplo, existe uma entrega a cada dois dias, porém o material que o caminhão está transportando será apenas empilhado junto com um estoque de duas semanas de matéria-prima. A principal causa está no fato de enviarem planos de produção para cada processo de forma independente, isto é, cada processo vai produzir independente da real necessidade do processo cliente e consequentemente empurrar sua produção para frente. Em relação especificamente a processos podemos observar que a edificação na

carreira apresenta o tempo mais significativo do *Lead Time*, logo na busca por redução deste tempo de atravessamento do fluxo de valor a empresa precisa dar uma atenção especial nas entregas e procedimentos de trabalho que afetam diretamente esta etapa de produção.

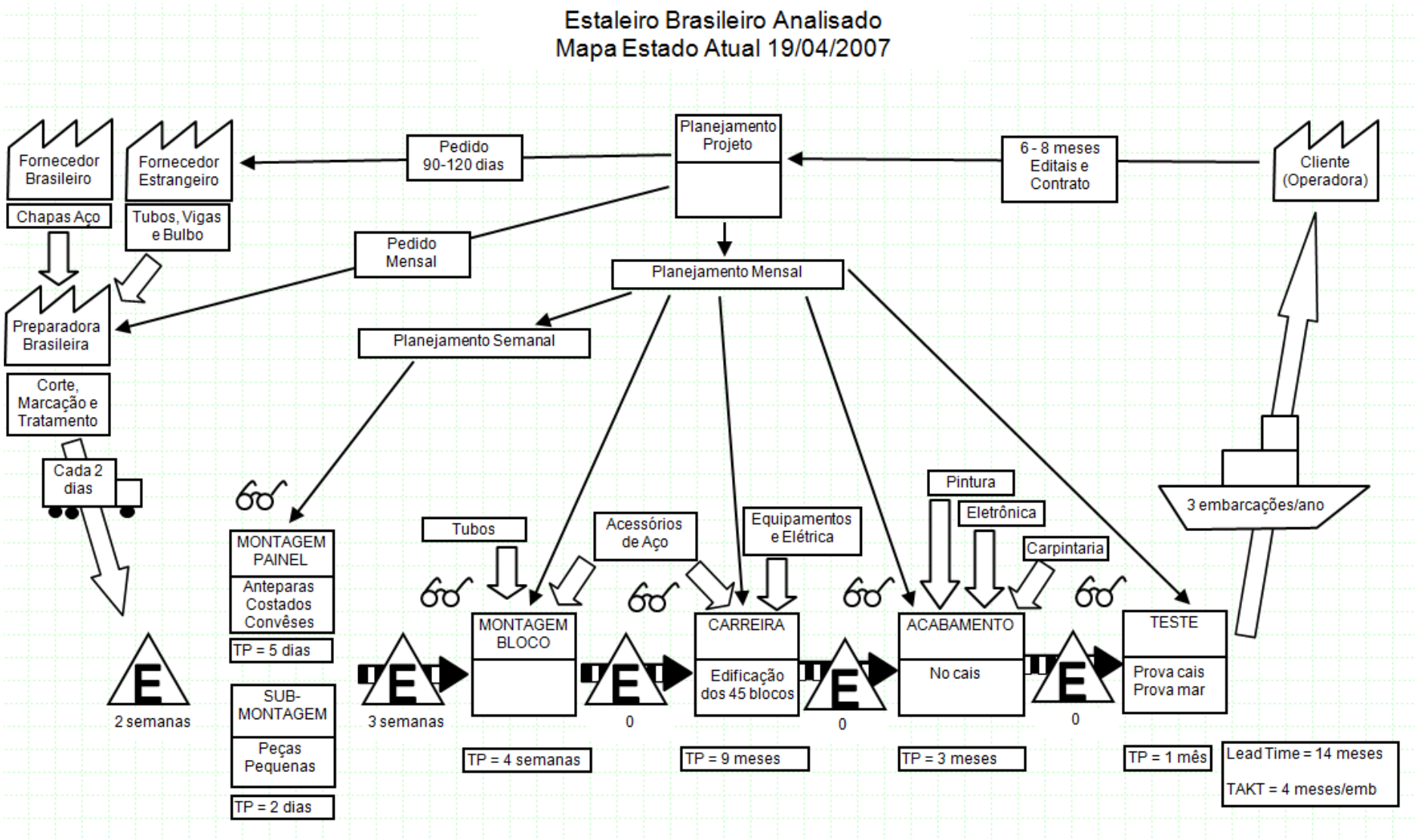

Figura 3.1 Mapa do Fluxo de Valor do Estado Atual do Estaleiro X

3.2.2.2 Desperdícios – *Muda*

Utilizando a categorização proposta por Taiichi Ohno (OHNO, 1997), podemos identificar alguns exemplos de desperdícios observados no Estaleiro que se enquadram em alguma das categorias a seguir, sendo que foi observado pelo menos um exemplo em cada categoria:

- **Produção em excesso** – Havia um grande número de sub-montagens já terminadas e ainda assim continuava-se a produzir, antes da real necessidade, enquanto outras partes se encontravam atrasadas. Um exemplo pode ser observado na Figura 3.2.

Figura 3.2 Exemplo de Muda *– Produção em Excesso – Estaleiro X*

- **Espera** – Pudemos observar, Figura 3.3, muitos operadores esperando enquanto aguardavam máquinas de solda automática (arco-submerso), ou por causa de falhas no equipamento, ou devido a peças necessárias que não eram encontradas e, principalmente, por falta de informação do que fazer em seguida.

Figura 3.3 Exemplo de Muda – *Espera – Estaleiro X*

- **Transporte** – Movimentação desnecessária de produtos ou peças ocorria devido ao excesso de produção. Em algumas áreas não era possível continuar trabalhando no mesmo local; o operador então solicitava auxílio de seus companheiros para ajudarem neste transporte de material. Isto foi observado um significativo número de vezes. Quando alguém necessitava movimentar algum material, muitos operadores eram envolvidos e interrompiam suas atividades de trabalho conforme Figura 3.4.

Figura 3.4 Exemplo de Muda – *Transporte – Estaleiro X*

- **Processamento** – Quando falamos de um projeto de uma embarcação há muitas operações de ajustagem devido à natureza do produto, contudo não podemos desprezar este tipo de desperdício, pois muito tempo é despendido apenas nesta atividade. Há oportunidade clara de melhoria ainda na fase de projeto evitando a adaptação do processo produtivo apenas no momento da produção. A consequência é que muitas vezes a responsabilidade recai sobre o operador que precisa criar novos processos, muitos destes desnecessários. Na Figura 3.5, o operador está adaptando a chapa que já havia sido cortada anteriormente conforme projeto original.

Figura 3.5 Exemplo de Muda *– Processamento – Estaleiro X*

- **Estoque** – Um dos problemas observados foi a falta de espaço para produzir o que era realmente necessário, uma vez que estes espaços, muitas vezes nobres (áreas em condições de serem utilizadas para produção), estavam ocupados com material que foi feito antes da real necessidade, exemplo apresentado na Figura 3.6.

Figura 3.6 Exemplo de Muda *– Estoque – Estaleiro X*

- **Movimentação** – Um estaleiro apresenta dimensões significativamente grandes, logo quando um operador precisa procurar uma peça ou uma ferramenta muito tempo é gasto apenas andando. Mesmo dentro dos blocos que estão sendo edificados, os operadores sobem e descem muitas escadas, Figura 3.7, para chegarem até seu posto de trabalho ou para procurar algo, inclusive informação do que fazer em seguida.

Figura 3.7 Exemplo de Muda *– Movimentação – Estaleiro X*

- **Correção** – Já apontamos o excesso de produção como sendo o pior de todos os desperdícios, porém na construção da embarcação observamos que temos um tipo de desperdício que na realidade se mostrou bastante curioso, pois ele é tratado como completamente natural e de nenhuma forma como sendo um desperdício. Devido às imprecisões e aos erros de construção, foi observada uma fase de processo denominada de "ajustagem". Havia uma série de correções de processos não capazes, ditos como "inerentes do processo". No caso específico, apresentado na Figura 3.8, foi observada a correção das diferenças de alturas dos encaixes entre os blocos durante a edificação.

Figura 3.8 Exemplo de Muda *– Correção – Estaleiro X*

3.2.2.3 Análise

O Mapeamento do Fluxo de Valor, bem como o levantamento dos sete desperdícios aponta para problemas severos no fluxo de informações e na sistemática de trabalho adotada, acarretando em sérias consequências negativas no fluxo de materiais. O material só se move e pessoas somente realizam trabalho no momento que recebem uma informação e sabem como proceder para cumprir suas tarefas, por isso, a importância de possuir um sistema eficiente neste fluxo de informações e nos padrões produtivos.

Claramente o Estaleiro X ainda não está buscando se tornar uma empresa enxuta, suas técnicas produtivas atuais remetem a conceitos tradicionais de produção em massa ou até produção artesanal. A busca por melhoria contínua está sendo interrompida devido à necessidade intensa de "apagar incêndios" sem atuação direta sobre os focos das causas destes.

Ganhos significativos de redução de *Lead Time* podem ser obtidos atuando nestes desperdícios, permitindo assim à empresa se tornar ainda mais competitiva com os mesmos recursos utilizados hoje. Muitos destes desperdícios são inerentes ao processo produtivo atual, porém é fundamental continuar a enxergá-los como sendo desperdícios para orientar a redução de custos e melhorar a lucratividade da empresa.

3.3 CASO 2 – EMBARCAÇÕES DE FIBRA

Este caso apresenta um estaleiro brasileiro que já iniciou sua jornada em busca da melhoria contínua através dos conceitos do *Lean Thinking*, alguns elementos estão presentes no dia-a-dia desta empresa. Através de um levantamento de dados obtido pessoalmente, no próprio estaleiro, foi feita uma análise em que níveis estão as práticas adotadas, bem como principais deficiências nas iniciativas que poderão servir como sugestões para futuras continuações e expansões das aplicações da Mentalidade Enxuta.

Este estaleiro trabalha em um segmento, extremamente significativo, de lanchas de fibra de alto desempenho, sendo o maior nesta categoria no Brasil.

A empresa apoiou o estudo, tem interesse direto nas atividades da Mentalidade Enxuta e abriu as portas para o levantamento dos dados necessários ao trabalho. Visitas foram realizadas, no segundo semestre de 2008, para compreender o funcionamento do Estaleiro Intermarine bem como o seu fluxo produtivo através de observações e entrevistas diretamente com os funcionários da empresa.

3.3.1 Apresentação do Estaleiro Intermarine

A Intermarine é o estaleiro líder no Brasil em lanchas de alto desempenho de médio e grande porte, possui 70% do mercado em barcos de 38 pés com um faturamento de US$60 milhões/ano segundo a Gazeta Mercantil (WILKE, 2002). Fundada em 1973, já produziu e comercializou mais de 5000 embarcações. Na sua linha de produtos no mercado náutico brasileiro existem embarcações variando de 38 a 98 pés. Cada embarcação possui um valor que varia de US$400 mil até US$3 milhões.

Através de uma parceria firmada desde 1996, com o estaleiro italiano Azimut Yachts, a Intermarine constrói embarcações homologadas deste estaleiro europeu para o mercado brasileiro. O estaleiro Azimut, fundado em 1969 por Paolo Vitelli, é o maior da Europa em sua categoria. Possui operações em mais de 40 países. Só no Mediterrâneo são mais de 30 centros especializados.

As instalações da Intermarine ocupam uma área de aproximadamente 50.000 m² na cidade de Osasco no estado de São Paulo. No estaleiro existe inclusive um tanque de 400 m³ de água, específico para testes hidrostáticos e *start-up* de máquinas e equipamentos. A empresa possui 1300 funcionários, 1100 na fábrica e 200 na administração.

A Intermarine busca possuir as seguintes características em suas embarcações, segundo informações contidas em material de divulgação (INTERMARINE, 2009): "design inconfundível, desempenho excepcional, sofisticação, alta qualidade de construção, assistência técnica eficaz e uma vibrante experiência ao navegar. É a combinação de todas essas características que torna a marca Intermarine tão única."

3.3.2 Observação dos Processos Produtivos

A produção média da Intermarine é de 10 embarcações/mês. São 17 modelos (padrão básico) subdivididos em quatro famílias por semelhanças nos processos produtivos, principalmente nos estágios de montagem.

Os projetos dos modelos das embarcações são procedentes da Azimut, sendo que na Intermarine são realizadas pequenas adequações ao mercado brasileiro. Estas alterações são realizadas pelo departamento de Engenharia de Produto e Processos, onde dois engenheiros navais fazem parte da equipe. As principais mudanças dizem respeito ao desejo dos clientes de aumento da potência de motorização e das áreas externas

uma vez que, por característica local, as embarcações são mais utilizadas para recreio e poucos clientes realmente dormem na embarcação.

Existe um grande galpão principal, conforme a Figura 3.9, onde todas as montagens são realizadas. Estas são realizadas em três estágios por equipes específicas para cada estágio e para cada família. Sendo caracterizada por uma montagem posicional onde as embarcações permanecem em suas posições fixas do início ao final da montagem, independentemente do estágio.

Figura 3.9 Galpão Principal (INTERMARINE, 2009)

Os componentes para a montagem final, conforme apresentado no fluxo da Figura 3.10, são procedentes das chamadas Mini-Fábricas (seriam os departamentos de sub-montagens e fabricação), são elas:

- Movelaria – Responsável por produzir todos os móveis que serão utilizados na embarcação. Uma área de carpintaria completa permitindo a construção de todos os tipos de produtos necessários a partir da matéria prima básica, madeira.
- Elétrica – Basicamente é responsável pela fabricação dos chicotes utilizados nas embarcações.

- Tapeçaria – Preparação dos estofamentos e de materiais de acabamento dos interiores.
- Mecânica – Diferentemente das outras áreas, esta está mais voltada para sub-montagens de conjuntos com peças, em sua maioria, vindas de terceiros (motores, bombas, hidráulica, etc.).
- Serralheria – Área da empresa responsável por todo tipo de ferragens, desde pequenas dobradiças até grandes peças como guarda mancebo e esquadrias para portas e janelas. Caracterizada por uma produção verticalizada.
- Laminação Grande – Responsável principalmente pelas grandes peças contínuas de fibra, principalmente o casco e sua contraparte superior.
- Laminação Pequena – Todas as demais peças de fibra necessárias na embarcação.

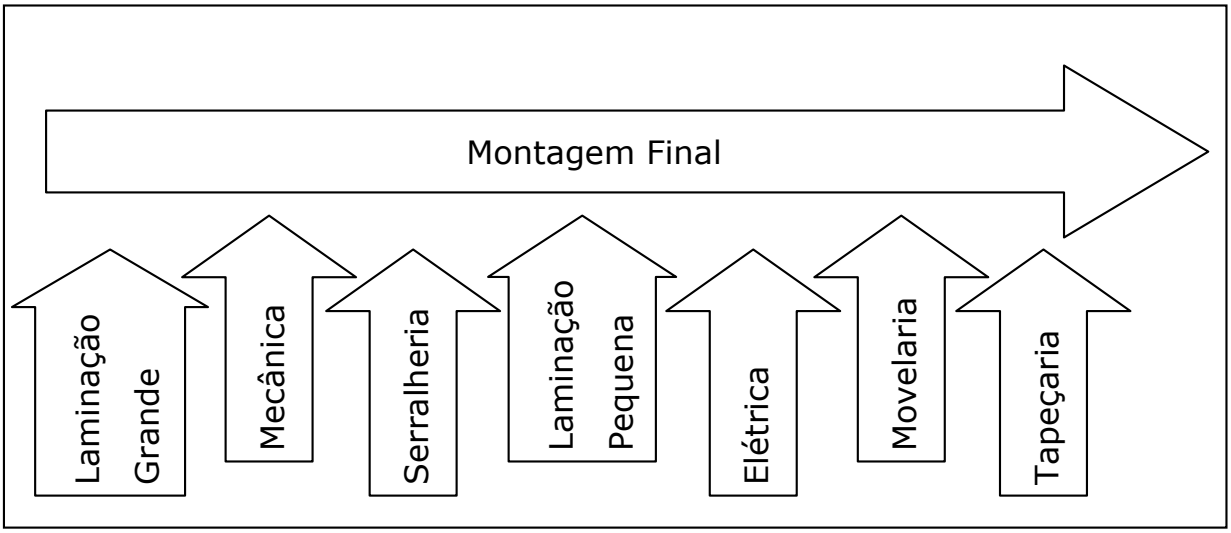

Figura 3.10 Fluxo de Produção das Mini-Fábricas para a Montagem Final

Apesar de possuir uma produção bastante verticalizada, basicamente com fornecedores nacionais apenas de matérias primas básicas, somente 20% do valor da embarcação é nacional.

Ao final da montagem as embarcações passam por um estágio de controle de qualidade no estaleiro, no qual todos os componentes, sistemas e

acabamentos são verificados e testados, em um processo de aproximadamente 20 horas. Além disso, antes da entrega ao proprietário, a embarcação passa por testes hidrostáticos em um tanque no estaleiro, e depois por testes de mar.

A entrega técnica ao proprietário é realizada por uma equipe da Intermarine, que promove um treinamento de todos os sistemas existentes para o proprietário e marinheiros.

3.3.2.1 Melhoria Contínua - *Kaizen*

A Intermarine iniciou suas atividades de melhoria contínua no ano 2000, através de atividades conhecidas como Eventos *Kaizen*. A empresa recebeu apoio externo (consultoria de 2000 até 2002) para evoluir com as atividades de melhoria.

O foco dos eventos foi principalmente na área produtiva (operacional) sendo que praticamente não afetou as áreas de desenvolvimento de produtos e demais áreas administrativas.

Boa parte dos esforços de *Kaizen* foi na área de montagem final, com a organização dos produtos em famílias e dedicação de equipes de trabalho por fluxo. Existem quadros de controle do processo de montagem permitindo saber em que estágio de montagem cada embarcação se encontra bem como se está atrasada ou adiantada – a referência é o Tempo *Takt*.

O Tempo *Takt* é consequência de um planejamento anual e definido por família de produtos. Através desta referência de tempo foi possível a divisão correta dos funcionários conforme a quantidade de trabalho a ser realizado em cada estágio da montagem.

As equipes de trabalho na montagem variam de 5 a 15 funcionários, sendo um destes o coordenador da equipe (veste uniforme igual e recebe o mesmo salário que os demais). Existe um supervisor por família de

produto, sendo este responsável pelas três equipes dos diferentes estágios da montagem, respondendo diretamente à gerência.

Para garantir a montagem operando em fluxo contínuo sem interrupções, foram criados os *Kits* de montagem. Os componentes necessários para cada estágio da montagem são separados previamente (dois dias antes do uso) e preparados em *Kits* sob responsabilidade da Logística. Os componentes miúdos nas operações (parafusos, porcas, arruelas, etc.), estão alocados em pequenos containeres localizados próximos aos pontos de uso e são controlados através de um sistema puxado denominado de *Kanban*.

As chamadas Mini-Fábricas produzem os componentes para atender às necessidades da montagem, inclusive conforme a sequência de preparação dos *Kits*. Existe uma programação veiculada nas áreas mostrando o que será necessário na montagem para os três meses seguintes (revisão semanal). Este material deve estar liberado duas semanas antes da necessidade de preparação dos *Kits*.

A gestão visual, inclusive da programação, se refere às macro-atividades. As micro-atividades são basicamente controladas pessoalmente pelos responsáveis das Mini-Fábricas ou, no caso da montagem, pelo coordenador de equipe.

Existe uma política de estoque de matérias primas de no mínimo um mês, devido especialmente ao grande número de componentes importados. A função de garantir a disponibilidade destes materiais é um trabalho conjunto de Compras e Planejamento. Com este grande esforço de garantir os materiais na fábrica são necessárias 22 pessoas na atividade de Planejamento envolvidas diretamente com a fábrica.

Existem atividades de 5S evidentes na fábrica. Nos 20 minutos finais do expediente são realizadas as atividades de limpeza pelos próprios operadores.

Por falta de tempo, principalmente devido ao grande crescimento de vendas e consequente repriorização das tarefas das pessoas envolvidas com as melhorias, as atividades de *Kaizen* foram interrompidas em setembro de 2007. Apesar desta interrupção a empresa percebeu os grandes ganhos de produtividade e organização que foram benefícios destes esforços e por isto estão buscando sua retomada em 2009.

3.3.2.2 Análise

Certamente o estaleiro Intermarine aplicou alguns elementos, ferramentas e conceitos da Mentalidade Enxuta, entretanto isso se deu na forma de melhorias pontuais sem uma visão sistêmica para orientação das implementações.

O avanço com a adoção de tempo *Takt* na linha de montagem é significativo, existindo o conceito de ritmo na área, permitindo inclusive futuros avanços com o conceito nas Mini-Fábricas.

O trabalho com as equipes de montagem subdivididas por famílias e estágios está realizado através de uma visão macro, há necessidade de análise mais micro. Não é possível acompanhar o andamento da montagem no detalhe e saber se a produção está com o ritmo de trabalho normal ou anormal. Podem acompanhar o andamento, no quadro, em relação à referência que é o *Takt Time*, porém este tempo é da ordem de dias logo, quando perceberem que estão atrasados será dias depois.

Os *Kits* foram uma maneira interessante para alimentar a montagem garantindo o fluxo de trabalho sem interrupções e protegendo-a das instabilidades dos fornecedores tanto internos quanto externos. Funciona como um pulmão, um estoque limitado de peças, porém há possibilidade de redução do seu tamanho podendo ser um dos focos de melhorias contínuas.

A parte de programação, principalmente das Mini-Fábricas seria uma das grandes preocupações para a melhoria contínua da empresa, uma vez que

seu funcionamento atual possui características de sistemas empurrados com revisões da programação constantes contrárias à filosofia *Lean*.

Quanto aos materiais comprados, utilizando de sua política de estoques, permite redução no volume existente, afetando significativamente o fluxo de caixa, uma vez que materiais importados representam 80% do valor da embarcação.

O 5S se mostrou bastante incorporado nas práticas de trabalho da empresa com a política de 20 minutos de limpeza ao final do turno, porém seria importante atuar mais nas fontes de sujeiras para que não seja necessário gastar tanto tempo nas limpezas. A busca deveria ser pelas causas-raízes eliminando ou no mínimo reduzindo a produção de sujeira.

O programa de melhorias contínuas, conhecido como *kaizen*, foi interrompido, provavelmente por ter sido tratado como um projeto pontual e não ter sido incorporado como uma filosofia gerencial.

3.4 AVALIAÇÃO COMPARATIVA DOS CONCEITOS DO *LEAN THINKING* NOS CASOS APRESENTADOS

Através dos elementos apresentados pelo modelo de Liker (LIKER & LAMB, 2001) para a indústria naval foi possível comparar as diferenças de aplicação dos conceitos da Mentalidade Enxuta. O resultado deste levantamento está apresentado na

Tabela 4. Cada elemento segue com uma avaliação entre A,B,C,D ou E. Avaliação "A" representa uma total aderência ao elemento da Mentalidade Enxuta e "E" representa praticamente nenhuma aderência. Ao lado da avaliação são apresentados os argumentos positivos e negativos utilizados com base nas referências teóricas, conhecimentos e experiências industriais do autor. Na sequência é apresentada a Figura 3.11 onde podemos enxergar melhor a diferença entre os casos apresentados, bem como a lacuna que falta para atingir a classe mundial.

Tabela 4 – Avaliação comparativa entre Estaleiro X e Intermarine

Elementos	**Aval.**	**Estaleiro X**	**Aval.**	**Intermarine**
Tempo *Takt*	E	I. O ritmo da produção não é planejado, assumido em função da capacidade do equipamento.(-) II. Operações da linha, adição ou corte de operadores, acompanha a demanda do cliente. (-)	C	I. Demanda do cliente é considerada para determinar o tempo *Takt* (+), mas este não é sempre seguido. (-) II. Mudança do plano são frequentes. (-) III. A ineficiência existe como a superprodução ou ociosidade. (-)
Fluxo Contínuo Eficiente	E	I. Produção em ilhas isoladas com estoques entre processos. (-) II. Produção em bateladas resultando em elevado *Lead Time*. (-)	D	I. A produção é realizada em uma área geral com alguns pontos de fluxo de uma peça. (+) II. Quantidade grande de estoque de material separa as operações. (-) III. Operações em batelada ainda acontecem. (-)

Elementos	Aval.	Estaleiro X		Aval.	Intermarine	
Sistema Puxado	E	I.	Produção totalmente baseada em planejamento mensal. (-)	C	I.	Sistema *Kanban* em algumas partes. (+)
		II.	Não existe o controle do ritmo na linha. (-)		II.	Retirada não está baseada na demanda do cliente. (-)
		III.	Materiais são empurrados no fluxo somente com uma previsão de demanda. (-)		III.	Nível de estoque em processo não é sempre controlado. (-)
					IV.	Disciplina da puxada ocasionalmente rompida. (-)
Cronograma-Nivelado e Balanceado	E	I.	O fluxo da informação à produção feita uma vez ao mês. (-)	C	I.	O fluxo da informação à produção processada semanalmente. (+)
		II.	O ritmo da produção é baseado em consideração a manufatura sem considerar o ritmo do cliente. (-)		II.	Razoável sincronização de produção entre processos. (+)
Controle de Acurácia	E	I.	Atividades de correção fazem parte do fluxo normal. (-)	C	I.	Áreas produtivas são responsáveis e cobradas pela qualidade enviada fluxo abaixo. (+)
		II.	Não existe intenção de fazer certo na primeira vez. (-)			

Elementos	Aval.	Estaleiro X		Aval.	Intermarine	
Processos Controlados	E	I.	Inexistência de controles estatísticos de processo. (-)	D	I.	Acompanhamento estatístico de alguns processos. (+)
					II.	Poucas iniciativas de melhoria sobre os controles. (-)
Controle Visual	E	I.	Poucos quadros de indicadores de controle visual. (-)	D	I.	Áreas produtivas com indicadores de desempenho. (+)
		II.	Poucas ações sendo realizadas através do controle visual. (-)		II.	Existência de dados desatualizados. (-)
		III.	Inventários não são identificados. (-)		III.	O *status* da produção está claro (+), mas não em tempo real. (-)
					IV.	Inventário identificado. (+)
					V.	Identificação de anormalidades através dos controles visuais. (+)
Controle à prova de erro	E	I.	Não existem dispositivos que auxiliem o operador a não cometer erros. (-)	D	I.	Os processos existentes evitam a ocorrência de alguns erros. (+)
					II.	Não há uma sistemática de criação de novos dispositivos à prova de erros. (-)

Elementos	Aval.	Estaleiro X	Aval.	Intermarine
Auto-qualidade do operador	E	I. Não há preocupação com qualidade no material que é passado para o processo seguinte. (-)	C	I. Processos fornecedores buscam entregar qualidade para os processos seguintes. (+) II. Quando encontrado um erro o operador do processo de origem recebe um retorno. (+)
Balanceamento Homem-Máquina	E	I. Operador fica alocado continuamente durante a operação do equipamento. (-)	D	I. Alguns processos ocorrem de forma independente do operador. (+) II. Não há busca por liberar o operador em novos processos. (-)
Manutenção Produtiva Total (TPM)	E	I. Manutenção na sua maioria é corretiva. (-) II. Não há participação do operador na manutenção do equipamento. (-) III. 5S dos equipamentos inexistente. (-)	C	I. Manutenção preventiva significativa. (+) II. Alguma participação do operador na manutenção do equipamento. (+) III. 5S dos equipamentos presente. (+)

Elementos	Aval.	Estaleiro X	Aval.	Intermarine
Ergonomia e Segurança	E	I. Cada operador trabalha de uma maneira distinta. (-) II. Processos não desenhados com foco em ergonomia. (-) III. Condições inseguras são normais. (-) IV. Produtividade mais importante que segurança. (-)	D	I. Postos de trabalho definidos. (+) II. Método de trabalho individual de cada operador. (-) III. Algumas ferramentas, materiais e formas de transporte buscam atender às necessidades de ergonomia. (+) IV. Padrões de segurança existentes. (+)
Organização da área de trabalho (5S)	E	I. Não há definição de organização de área de trabalho. (-) II. Responsabilidade do operador adequar os equipamentos à área de trabalho. (-) III. Improvisação de ferramentas. (-) IV. Não há política definida de limpeza. (-)	C	I. Áreas de trabalho em sua maioria definidas. (+) II. Ferramentas mantidas em áreas pré-definidas. (+) III. Limpeza responsabilidade também do operador. (+) IV. Definição de política e horário para limpeza. (+)

Elementos	Aval.	Estaleiro X	Aval.	Intermarine
Sistemas padronizados	E	I. Não tem trabalho padronizado. (-) II. Colaboradores fazem operação em decorrência da habilidade e não seguem uma sequência estabelecida. (-) III. Atividades variam no turno e entre turnos. (-)	D	I. Existência de instruções básicas de trabalho nem sempre seguidas. (-) II. Acesso às instruções está no nível de operação. (+)
Integração do Desenvolvimento de Produtos e Processos	E	I. Produtos projetados para processos universais. (-) II. Produtos não otimizados para produção local. (-) III. Adaptações do processo realizadas por operadores experientes. (-)	C	I. Projeto de produtos adaptados às realidades dos processos locais. (+) II. Não há otimização dos projetos de processos e produtos. (-)
Foco no Cliente	D	I. Produto adaptado indiretamente (-) às necessidades do cliente. (+)	C	I. Cliente participa diretamente com suas necessidades. (+)
Integração da cadeia de fornecimento	D	I. Controle da cadeia realizada (+), porém pelo fornecedor. (-) II. Fornecedores chave definidos. (+)	C	I. Cadeia de fornecedores definida. (+) II. Política de recebimento definida e controlada. (+) III. Parceria existente com alguns fornecedores. (+)

Elementos	Aval.	Estaleiro X	Aval.	Intermarine
Desenvolvido e construído por pessoas flexíveis, capazes e altamente motivadas	E	I. Operadores não fazem rodízio. (-) II. Operadores habilitados em um processo. (-) III. Não tem um plano de treinamento de multifuncionalidade. (-) IV. Treinamento baseado na "mão na massa". (-)	D	I. Maior parte dos treinamentos limitados em habilidades básicas. (-) II. Operadores fazem rodízio informalmente. (-) III. Não há treinamento direcionado em melhorias contínuas. (-)
Melhoria Contínua	E	I. A maior parte dos problemas são somente notificados pelos operadores e as contramedidas pelos técnicos e manutentores são superficiais. (-) II. Problemas constantemente reocorrem resultando em baixo desempenho dos processos. (-)	D	I. Algumas ferramentas de solução de problemas são utilizadas, a exemplo dos Cinco Porquês pelos gestores, técnicos e engenheiros. (+) II. A maior parte das contramedidas é de ações rápidas tornando-se os problemas repetitivos. (-)

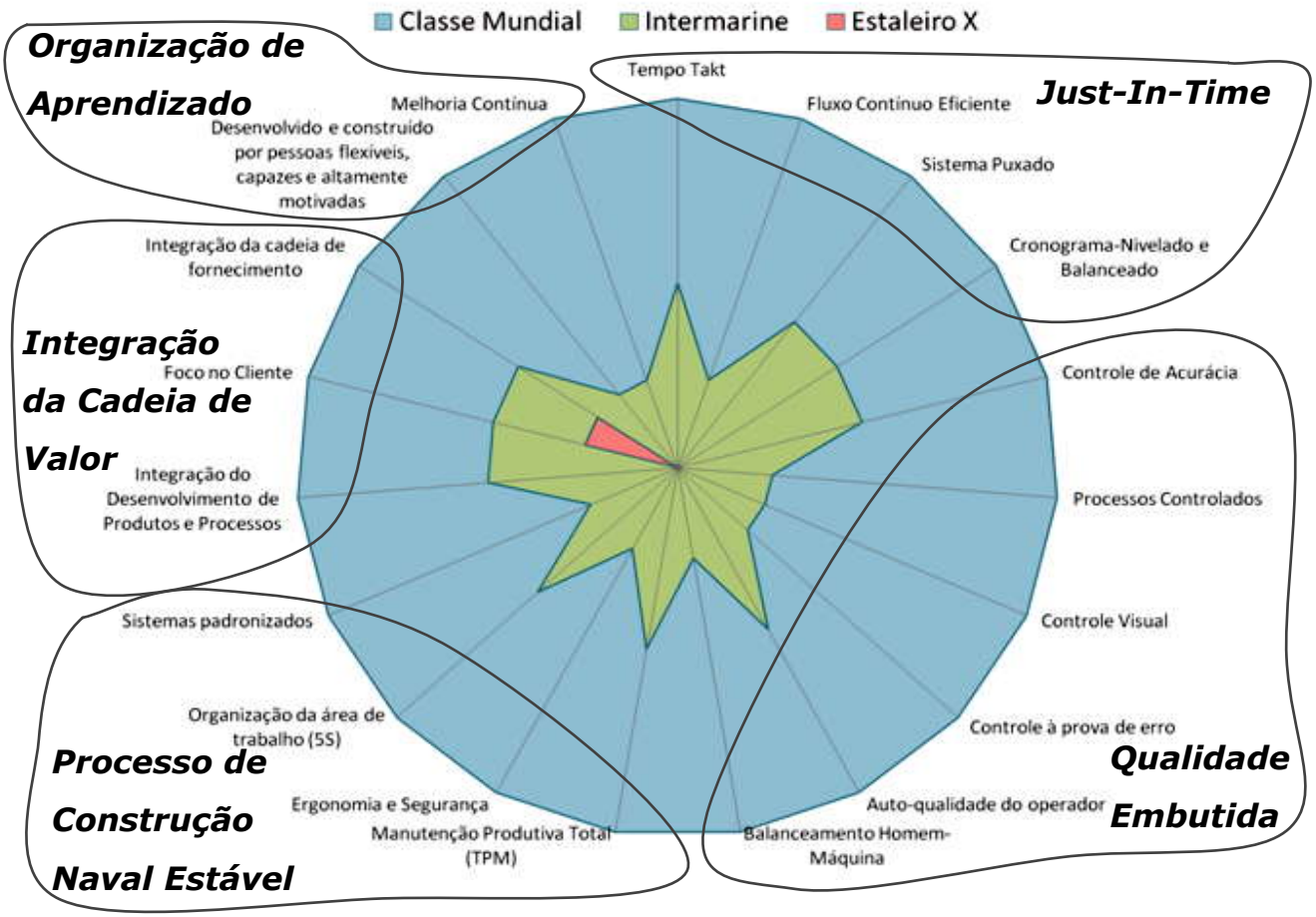

Figura 3.11 Comparação dos Casos com uma Construção Naval de Classe Mundial

Podemos observar uma adequação muito maior do sistema de produção aos elementos do modelo pelo Estaleiro Intermarine do que o Estaleiro X. Algo realmente esperado, pois não existem iniciativas em busca da Mentalidade Enxuta no Estaleiro X ao contrário do outro. Ambos os estaleiros possuem deficiências explícitas que os deixam ainda longe de uma construção naval enxuta ótima de classe mundial.

4 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

4.1 PRINCIPAIS CONCLUSÕES

Após o estudo teórico e levantamento de dados, inclusive através de casos reais, buscou-se responder as perguntas originais apresentadas no Objetivo e reapresentadas aqui em sequência:

1. Dadas as formas e práticas de gestão utilizadas atualmente na indústria naval, a filosofia da Mentalidade Enxuta pode ser adotada e auxiliar na melhoria da competitividade dos estaleiros?

A Mentalidade Enxuta tem se mostrado aplicável em todo tipo de indústria em que é testada. Este trabalho corrobora este pensamento através de resultados prévios obtidos tanto em empresas cujas características se assemelham às de construção naval bem como resultados de estaleiros que já iniciaram seus trabalhos em busca de um sistema de produção mais enxuto. Os casos levantados foram fundamentais para a melhor compreensão do tema e serviram, em muito, para caracterizar as semelhanças existentes entre a indústria naval e outras. A busca por satisfazer o cliente e reduzir incessantemente o desperdício é aplicável sim no caso de um estaleiro permitindo que ele se torne cada vez mais competitivo.

2. Considerando as características particulares da indústria em que a construção naval está inserida, a visão de valor e desperdício de Taiichi Ohno pode ser útil às necessidades dos estaleiros?

Qualquer transformação *Lean* é muito mais mudança nas atitudes das pessoas que estão em funções de gestão do que nos processos de fato. A visão institucionalizada por Taiichi Ohno, em relação aos desperdícios, é completamente válida dentro de um sistema de construção naval.

Compreender de verdade o princípio de valor em contrapartida ao desperdício se mostrou o maior desafio durante os estudos de casos. Para implementar a filosofia *Lean* é necessário entender seus princípios, fundamentos e acima de tudo ter coragem e persistência. O fundamental neste momento é permanecerem abertos às possibilidades de realizarem o trabalho de um modo diferente e mais eficiente do que sempre fizeram.

3. É possível utilizar um modelo teórico de estaleiro enxuto para identificar e avaliar os elementos críticos para a realização de uma transformação *Lean*?

Através da proposta de um modelo de estaleiro enxuto, proposto por Jeffrey Liker e Thomas Lamb, é possível buscar os elementos críticos para a realização desta transformação. Ao avaliarmos os processos sob a ótica da filosofia *Lean* começamos a enxergar as oportunidades de avanços. A construção de uma embarcação que possui um *Lead Time* de produção naturalmente longo devido à quantidade de trabalho a ser realizada, deverá sempre buscar manter o desperdício no mínimo necessário. Pelo potencial apontado nos casos estudados, para um estaleiro tradicional, que nunca enxergou melhorias sistêmicas de seu fluxo de valor, existirá a possibilidade de uma redução significativa do *Lead Time* em comparação ao tempo original.

A busca por um sistema enxuto deverá fazer parte dos estaleiros tradicionais que buscam permanecer de forma competitiva no mercado, bem como, dos novos estaleiros que irão se desenvolver no futuro tendo a oportunidade de já começarem alinhados aos princípios enxutos. O caminho já está traçado, e está cada vez mais claro, agora só depende da indústria naval engrenar também nesta jornada *Lean*.

4.2 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Um estudo mais profundo com aplicação de ferramentas específicas associadas a cada um dos elementos apontados no modelo proposto por Liker e Lamb poderia ser realizado. Colocando a ferramenta em comparação ao resultado alcançado bem como sua importância dentro de um contexto de busca de um sistema enxuto.

A aplicação de uma ferramenta é sempre associada a uma situação particular vivida pela empresa, porém através de alguns exemplos práticos os estaleiros poderiam absorver com mais facilidade alguns princípios buscando em seguida adaptar às suas realidades locais.

Existe um potencial de estudo grande também na fase de desenvolvimento de produtos mais bem alinhados com os processos de fabricação, pouco explorado na bibliografia e nos casos estudados. Todavia permanece com importância fundamental na busca por redução dos desperdícios no momento da produção e consequentemente para um sistema de produção mais enxuto.

REFERÊNCIAS[1]

ARTHOU, A. P. (2007). *Gestão e Planejamento do Projeto e Construção Navais.* São Paulo: Apostila Módulo 10 - Especialização em Engenharia Naval USP/UPE.

BERTRAND, J. W., & MUNTSLAG, D. R. (1993). Production control in engineer-to-order firms. *International Journal of Production Economics* (30-31), pp. 3-22.

C. ROLIM. (2009). *Lean Construction - Construção Enxuta*. Acesso em 2 de fevereiro de 2009, disponível em C. Rolim Engenharia: www.crolim.com.br

CHIN, C. S. (Julho de 2009). Work in-process and construction. *International Group for Lean Construction* (17th Conference), pp. 257-266.

COMSTOCK, E. N. (2002). *Naval Transformation and Shipbuilding.* OPNAV N76C.

COOL, C. (2002). *Breaking Down the Walls. Northrop Grumman.* Lexington, Kentucky, Estados Unidos da América: National Shipbuilding Research Program. Lean Ship Building & Ship Repair Forum.

DUGNAS, K., & OTERHALS, O. (2008). State-Of-The-Art Shipbuilding: Towards Unique And Integrated Lean Production Systems. *International Group for Lean Construction* (16th Conference), pp. 321-331.

EMBRAER. (2009). *Empresa - Perfil*. Acesso em 4 de fevereiro de 2009, disponível em Embraer - Empresa Brasileira de Aeronáutica S.A.: www.embraer.com.br

[1] De acordo com o estilo APA – American Psychological Association

FERRO, J. R. (1990). A produção enxuta no Brasil, Apêndice E. In: J. P. WOMACK, D. T. JONES, & D. ROSS, *A máquina que mudou o mundo* (10 ed.). Rio de Janeiro: Elsevier.

HARRIS, R., HARRIS, C., & WILSON, E. (2004). *Fazendo Fluir os Materiais. um guia lean de movimentação de materiais para profissionais de operações, controle de produção e engenharia.* São Paulo: Lean Intitute Brasil.

IGLC. (2009). *Welcome to the IGLC - IGLC Portal*. Acesso em 08 de 08 de 2009, disponível em IGLC: http://www.iglc.net/

INOZU, B., NICCOLAI, M. J., WHITCOMB, C. A., CLAREN, B. M., RADOVIC, I., & BOURG, D. (Maio de 2006). New Horizons for Shipbuilding Process Improvement. *Journal of Ship Production* (22-2), pp. 87-98.

INTERMARINE. (2009). *Quem Somos*. Acesso em 21 de Janeiro de 2009, disponível em Intermarine: www.intermarine.com.br

INTERNATIONAL GROUP OF AUTHORITIES. (2003). *Ship Design and Construction.* United States of America: The Society of Naval Architects and Marine Engineers.

JENSEN, P., HAMON, E., & OLOFSSON, T. (Julho de 2009). Product Development Through Lean Design and Modularization Principles. *International Group for Lean Construction* (17th Conference), pp. 465-474.

LAMB, T., CANHETTI, A., CHEW, S. K., DANIELS, R. T., LEISS, D., DUTTA, N., et al. (2000). *Implementation of Lean Principles at the Innovative Shipbuilders of Virginia.* Michigan, Estados Unidos da América: NA562 - Concurrent marine management team project.

LEAN ADVISORS INC. (2003). *Report on US Lean Shipbuilding Initiatives.*

LEAN AEROSPACE INITIATIVE. (2004). *Lean Studies Applicable to Systems Engineering.* MIT Research Studies.

LEAN INSTITUTE BRASIL. (2007). *Léxico Lean. Glossário ilustrado para praticantes do pensamento lean.* (2 ed.). São Paulo: Lean Institute Brasil.

LIKER, J. K. (2005). *O modelo Toyota. 14 princípios de gestão do maior fabricante do mundo.* Porto Alegre: Bookman.

LIKER, J. K., & LAMB, T. (2001). *Lean Manufacturing Principles Guide. Develop and Implement a 'World Class' Manufacturing. A Guide to Lean Shipbuilding.* Michigan, Estados Unidos da América: Maritech ASE Project.

MACHADO, G. (2007a). *Tecnologia de Construção Naval.* São Paulo: Apostila Módulo 7 - Especialização em Engenharia Naval USP/UPE.

MACHADO, G. (2007b). *Tecnologia de Fabricação, Inspeção e Controle de Corrosão.* São Paulo: Apostila Módulo 8 - Especialização em Engenharia Naval USP/UPE.

MASSERA, C., & DOLATA, A. (2006). *Lean Thinking na Voith Paper.* São Paulo: Voith Paper - Lean Summit 2006.

MASSERA, C., & VOTTO, R. (2008). *Takt Time na Produção sob Encomenda.* São Paulo: Voith Paper - Lean Summit 2008.

MAYER, B., IRANI, S., & ADRA, H. (2008). Virtual Shop Clusters: A New Layout Concept for a Ship Repair and Maintenance Facility. *Naval Engineers Journal - American Society of Naval Engineers* (2), pp. 99-111.

MURMAN, E. (Janeiro de 2008). Lean Aerospace Engineering. *American Institute of Aeronautics and Astronautics - Aerospace Sciences* .

NOVAES, M. V. (2008). *Filosofia Lean como Sistema de Gestão da C.Rolim Engenharia.* São Paulo: Lean Summit 2008.

OHNO, T. (1997). *O Sistema Toyota de Produção: além da produção em larga escala.* Porto Alegre: Bookman.

OPTIPRISE. (2002). *NGSS Avondale Operations Cellular Manufacturing Example.* Lean Shipbuilding & Repair Forum.

PARK, C., PARK, J. C., BYEON, G. G., KIM, H. G., & KIM, J. (Janeiro de 2006). Steel stock management on the stockyard operations in shipbuilding: a case of Hyundai Heavy Industries. *Production Planning & Control* (17:1), pp. 1-12.

PELLEGRINI, M. T. (2008). *Elevando a Produtividade com a Adoção do Lean.* São Paulo: Embraer - Lean Summit 2008.

PINTO, M., ANDRADE, B., MACHADO, G., COLIN, E., FURTADO, J., SANTORO, M., et al. (2007). *Planejamento, Programação e Controle da Produção e Estoques na Construção Naval.* São Paulo: CEGN.

ROTHER, M., & HARRIS, R. (2002). *Criando Fluxo Contínuo. Um guia de ação para gerentes, engenheiros e associados da produção.* São Paulo: Lean Institute Brasil.

ROTHER, M., & SHOOK, J. (2003). *Aprendendo a Enxergar. Mapeando o fluxo de valor para agregar valor e eliminar o desperdício.* São Paulo: Lean Institute Brasil.

SELF, R. (2002). *NSRP ASE: Navy - Industry Collaboration in Lean Shipbuilding & Ship Repair.* NSRP.

SHINGO, S. (1996). *O Sistema Toyota de produção do ponto de vista da engenharia da engenharia de produção* (2 ed.). Porto Alegre: Bookman.

SLACK, N., CHAMBERS, S., HARLAND, C., HARRISON, A., & JOHNSTON, R. (1997). *Administração da produção.* São Paulo: Atlas.

SMALLEY, A. (2004). *Criando o Sistema Puxado Nivelado. Um guia de aperfeiçoamento de sistemas lean de produção, voltado para profissionais de planejamento, operações, controle e engenharia.* São Paulo: Lean Institute Brasil.

STORCH, R. L., & LIM, S. (1999). Improving flow to achieve lean manufacturing in shipbuilding. *Production Planning & Control , Vol.10 N.2*, pp. 127-137.

SUZAKI, K. (1987). *The New Manufacturing Challenge. Techniques for continuous improvement.* United States of America: The Free Press.

THOMPSON, C. G., & MORISHITA, H. M. (2007). Aplicação da Mentalidade Enxuta (Lean Thinking) na Indústria Naval. *COPINAVAL* (XX).

VOITH PAPER. (2009). *Competências*. Acesso em 8 de fevereiro de 2009, disponível em Voith Paper São Paulo: www.saopaulo.voithpaper.com

WILKE, J. (2002). Intermarine aumenta vendas de lanchas no Sul. (14 de Agosto).

WOMACK, J. P., & JONES, D. T. (2004). *A mentalidade enxuta nas empresas. Lean Thinking. Elimine o desperdício e crie riqueza.* (2 ed.). Rio de Janeiro: Elsevier.

WOMACK, J. P., JONES, D. T., & ROSS, D. (1990). *A máquina que mudou o mundo* (10 ed.). Rio de Janeiro: Elsevier.

YUE, W., WANG, C., & Zhang, Q. (Outubro de 2008). Study on the Shipbuilding Production Management System under Modern Shipbuilding. *Service Operations and Logistics - IEEE* (1), pp. 261-264.