

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**O *LEAN MANUFACTURING* APLICADO EM
AMBIENTES DE PRODUÇÃO *ENGINEER
TO ORDER***

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

RAFAEL SAIA
Orientador: Prof. Dr. Antonio Freitas Rentes

SÃO CARLOS
DEZEMBRO 2009

Rafael Saia

**O *LEAN MANUFACTURING* APLICADO EM
AMBIENTES DE PRODUÇÃO *ENGINEER TO
ORDER***

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Escola de Engenharia de
São Carlos da Universidade de São Paulo
para a obtenção do título de Engenheiro de
Produção Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Freitas Rentes

SÃO CARLOS
DEZEMBRO 2009

RESUMO

SAIA, R. *O Lean Manufacturing aplicado em ambientes de Produção Engineer to Order*. Trabalho de Conclusão de Curso – Escola de Engenharia de São Carlos – USP, 2009.

A implementação de sistemas produtivos baseados nos conceitos da Produção Enxuta, criados na Toyota no Japão pós segunda guerra mundial, está cada vez mais comum entre as empresas de manufatura atuais. No entanto, nos casos em que a tipologia de produção é do tipo sob encomenda ou *Engineer to Order (ETO)* uma grande dificuldade é encontrada na transformação das práticas convencionais em práticas que visam à eliminação de desperdícios através de ferramentas do *Lean Production*. Diferentemente das indústrias de produção em massa, nas quais a padronização dos processos produtivos e a estabilidade da demanda são mais evidentes, as empresas ETO encontram grandes obstáculos que exigem que as ferramentas da Produção Enxuta sejam adaptadas exclusivamente para esta tipologia de produção.

O presente trabalho identifica e analisa as melhorias e os ganhos produtivos que podem ser conseguidos através da aplicação do método de gerenciamento de projetos pela Corrente Crítica aliado aos conceitos da Produção Enxuta na fase de desenvolvimento de produtos ETO.

Um estudo de caso em uma empresa cuja tipologia de produção se enquadra nas características do *Engineer to Order* foi realizado para a análise em questão.

Palavras-chave: *Engineer to Order*, Corrente Crítica, Produção Enxuta.

ABSTRACT

SAIA, R. *The Lean Manufacturing applied to Engineer to Order production systems*. Trabalho de Conclusão de Curso – Escola de Engenharia de São Carlos – USP, 2009.

The implementation of productive systems based on the Lean Production concepts, that were created after the Second World War at the Toyota Company of Japan, is getting more and more usual at nowadays manufacturing companies. However, in some situations where the type of production is classified as Engineer to Order (ETO), many difficulties are found when converting the conventional practices in practices that focus on the elimination of waste through the Lean Production tools. Differently from the mass production companies, where the standardization of the productive processes and the stability of demand are more visible, the ETO companies find big barriers that require the Lean Production tools have to be uniquely adapted for this kind of production.

The present work identifies and analyzes the productive improvements and gains that can be reached by the application of the Critical Chain Project Management method together with the Lean Production concepts on the ETO products development stage.

A case study was accomplished at a company which the type of production fits the Engineer to Order features.

Key-words: Engineer to Order, Critical Chain, Lean Production.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Composição das atividades proposta por Hines e Taylor (2000)	18
Figura 2 - O enfoque da produção tradicional e o enfoque da Produção Enxuta.....	19
Figura 3 - Processamento em fluxo contínuo	24
Figura 4 – Vantagens do fluxo contínuo no arranjo celular	25
Figura 5 – Exemplo de um Mapa de fluxo de valor da situação atual ...	26
Figura 6 – Formação de famílias de produtos	27
Figura 7 – Quadro de nivelamento da carga (Heijunka Box).....	29
Figura 8 – Manutenção de estoques para os ambientes de manufatura	33
Figura 9 – Superposição entre etapas na produção ETO	36
Figura 10 - Atrasos no cronograma do projeto causados pela multitarefa	48
Figura 11 - Criação do diagrama de rede com as estimativas de duração das atividades.....	49
Figura 12 - Diagrama de rede com base nos tempos médios de duração por atividade	50
Figura 13 - Identificação da corrente crítica	50
Figura 14 - Proteção da corrente crítica com o pulmão de projeto.....	51
Figura 15 - Gerenciamento do pulmão de projeto (Project Buffer)	52
Figura 16 - Exemplos de bombas centrífugas industrializadas da empresa E1	55
Figura 17 - Exemplos de peças sobressalentes da empresa E1.....	55
Figura 18 - Manutenção de bombas centrífugas da empresa E1.....	55
Figura 19 - Exemplos de bombas termoplásticas da empresa E1	56
Figura 20 - Fluxo de valor macro da empresa E1	57

Figura 21 - Quadros de programação macro da empresa E1. Destaque para os principais atrasos das atividades.....	58
Figura 22 - Mapa do fluxo de informação da família “Projeto novo (não existe modelo)”	61
Figura 23 - Diagrama de rede com as estimativas de durações (dias) das atividades da família “Projeto novo (não existe modelo)”	63
Figura 24 - Diagrama de rede com base nos tempos médios de duração das atividades da família “Projeto novo (não existe modelo)”	64
Figura 25 - Quadro de programação e apontamento das atividades	65
Figura 26 - Folha de apontamento de ocorrências implementada	66
Figura 27 - Identificação da corrente crítica do projeto	67
Figura 28 - Inserção do pulmão para proteger a corrente crítica.....	68
Figura 29 - Cálculo instantâneo do pulmão	69
Figura 30 - Divisão do pulmão para a família “Projeto novo (não existe modelo)” com complexidade C1	69
Figura 31 - Plano de ação para Pulmões Críticos	69
Figura 32 - Quadro de acompanhamento dos projetos da família “Projeto novo (não existe modelo)”	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Durações (dias) das atividades do fluxo de desenvolvimento de projetos da família “Projeto novo (não existe modelo)”	62
Tabela 2 - Cálculo do pulmão de proteção da corrente crítica	67

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Âmbito das estimativas de tempo para uma tarefa.....	47
Gráfico 2 - Distribuição do valor em carteira pelos setores da empresa E1 antes da implementação da Corrente Crítica (a), 2 meses depois da implementação (b) e 3 meses depois da implementação (c)	74

SUMÁRIO

RESUMO	3
ABSTRACT.....	4
LISTA DE FIGURAS.....	5
LISTA DE TABELAS.....	7
LISTA DE GRÁFICOS	8
SUMÁRIO	9
1. INTRODUÇÃO	11
2. OBJETIVOS	12
3. CONTEXTUALIZAÇÃO E JUSTIFICATIVA	13
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
4.1 Produção Enxuta.....	14
4.1.1 O Conceito do Pensamento Enxuto	14
4.1.2 Os cinco princípios do pensamento enxuto	15
4.1.3 Fundamentos da Produção Enxuta	17
4.1.4 Ferramentas da Produção Enxuta.....	20
4.2 Ambientes de Produção <i>Engineer To Order</i> (ETO).....	31
4.2.1 Tipologias de produção	31
4.2.2 O ciclo de produção ETO	33
4.2.3 Características dos ambientes ETO	35
4.2.4 Superposição entre etapas na Produção ETO	35
4.2.5 Problemas referentes à produção ETO	38

4.2.6	Análise crítica do Lean em ambientes ETO.....	40
5.	DEFINIÇÃO DO MÉTODO	45
5.1	Método	45
5.1.1.	Passos para a aplicação do método	49
5.2.	Adaptações ao Método	52
6.	APLICAÇÃO NO CASO	54
6.1	Apresentação da empresa	54
6.2	Definição do fluxo de aplicação do método.....	57
6.3	Etapas de aplicação do método da Corrente Crítica.....	59
6.3.1	Diagnóstico da situação encontrada.....	59
6.3.2	Passos para a aplicação do método na empresa E1	62
6.4	Controle da implementação.....	70
6.5	Análise Crítica dos resultados	72
6.5.1	Problemas e dificuldades encontrados	72
6.5.2	Resultados e discussões	73
7.	CONCLUSÕES FINAIS	76
8.	TRABALHOS FUTUROS	78
9.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	79

1.INTRODUÇÃO

Este trabalho apresenta a pesquisa realizada para a conclusão do curso de Engenharia de Produção Mecânica da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. Trata-se de um estudo que analisa a implementação dos conceitos da Produção Enxuta em ambientes cuja produção e a engenharia são realizadas sob encomenda, onde o nível de padronização dos processos é muito baixo e a demanda é altamente variável. Tais ambientes de produção são denominados de *Engineer to Order*.

A pesquisa foi realizada em uma empresa do ramo metal-mecânico do interior de São Paulo cuja produção apresenta longos *Lead Times* de fabricação, alta variedade de produtos customizados e desenvolvidos a partir de especificações definidas exclusivamente pelos clientes, pouca padronização dos processos e grandes desperdícios no fluxo de valor dos produtos.

2.OBJETIVOS

O principal objetivo deste trabalho é o estudo e a análise das principais dificuldades encontradas por empresas ETO (*Engineer to Order*) na utilização das ferramentas do *Lean Manufacturing* visando à eliminação de desperdícios na produção, além da proposição de um método específico que auxilie as empresas deste ramo a incorporarem a filosofia *Lean* em seus processos de negócios.

A partir de um estudo de caso em uma empresa de produção ETO, pretende-se definir como as ferramentas da Produção Enxuta, tais como a gestão visual, o mapeamento do fluxo de informação, o *Lean Office*, dentre outras, podem ser adaptadas para estes ambientes produtivos e quais os potenciais ganhos elas podem trazer para a empresa.

3.CONTEXTUALIZAÇÃO E JUSTIFICATIVA

Os princípios do *Lean Manufacturing* (Produção Enxuta), desenvolvidos no Sistema Toyota de Produção ou no *Just in Time*, abrangem conceitos como a redução máxima dos estoques de produtos e componentes e a melhoria contínua dos processos através da eliminação de desperdícios por toda a empresa. Esta filosofia de produção foi ganhando espaço nas empresas por todo o mundo ao longo dos últimos anos e hoje é utilizada por muitas indústrias manufatureiras que enxergaram nela grandes oportunidades de melhorias.

A criação da Produção Enxuta foi baseada em um modelo de manufatura em massa, ou seja, uma produção repetitiva, seriada e padronizada. Contudo, o conceito de melhoria contínua e eliminação de desperdícios é buscado por qualquer tipo de empresa, independente da tipologia de sua produção. Portanto, as técnicas e os métodos a serem utilizados na implementação da cultura *Lean* devem ser selecionados de acordo com o ambiente no qual a empresa está inserida para se alcançar os objetivos desejados.

Atualmente, muitas empresas que fabricam produtos não-repetitivos, com alta variedade e pouca padronização, também conhecidas como empresas ETO (*Engineer to Order*), nas quais a engenharia e o desenvolvimento do produto são feitos mediante ordem, e MTO (*Make to Order*), nas quais a fabricação é feita mediante ordem, vem enfrentando grandes dificuldades no processo de transformação *Lean*. Isto se deve ao fato de que algumas das ferramentas e das práticas da Produção Enxuta não são adequadas para estes ambientes produtivos, como por exemplo, a produção puxada. Embora existam outras ferramentas que são aplicáveis a estas empresas, o sucesso de sua utilização só é garantido se elas forem totalmente adaptadas e específicas para a situação em questão.

Na literatura existem poucos registros teóricos sobre a utilização do *Lean Manufacturing* em sistemas produtivos ETO. As pesquisas e os estudos de caso práticos sobre o assunto ainda são escassos e muito se tem a desenvolver para a formulação de uma teoria sólida. Este trabalho visa identificar e detalhar mais profundamente as oportunidades de redução de desperdícios em empresas ETO

através da proposição de um método que seja aplicado juntamente com as técnicas da Produção Enxuta.

4.REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Produção Enxuta

4.1.1 O Conceito do Pensamento Enxuto

Em 1956, o engenheiro-chefe da Toyota japonesa, Taiichi Ohno, em visita às fábricas da Ford nos Estados Unidos, percebeu o quanto os americanos estavam adiantados em relação ao Japão no que diz respeito à eficiência produtiva. Contudo, Ohno também notou que a produção em massa e de baixa variedade dos norte-americanos não iria funcionar em um Japão devastado pela segunda guerra mundial, com a economia em crise e com uma demanda bem mais baixa (IMAI, 1990). Para que a Toyota se tornasse mundialmente competitiva como a Ford, era necessário que a empresa japonesa adaptasse as práticas dos norte-americanos para o seu território e para a sua cultura. Nesse contexto surgiu o Sistema Toyota de Produção que foi o pioneiro a fabricar produtos com uma variedade maior, a evitar a superprodução e a buscar ao máximo a redução de desperdícios, pois a Toyota não poderia se dar ao luxo de produzir gastando muito em uma época de crise econômica.

A nova filosofia criada pela Toyota se destacou no mundo inteiro apresentando ótimos índices de produtividade, qualidade e desenvolvimento de produtos. Assim, ao longo da última década, cada vez mais empresas buscam a utilização das práticas do sistema Toyota em sua produção (STEFANELLI, 2007).

O termo *Lean*, traduzido do inglês como “enxuto”, foi cunhado ao final da década de 80 em um projeto de pesquisa do *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) sobre a indústria automobilística mundial. A pesquisa revelou que a Toyota havia desenvolvido um novo e superior paradigma de gestão nas principais dimensões dos negócios (manufatura, desenvolvimento de produtos e relacionamento com os clientes e fornecedores) (LEAN INSTITUTE BRASIL WEBSITE).

Naquela época, a montadora japonesa não estava nem entre as dez maiores do mundo. Em 2009, a Toyota tornou-se a maior em volume de vendas, acumulando vitória após vitória ao longo destas décadas, mostrando as vantagens e benefícios do sistema que desenvolveu. Não se trata de um conceito exclusivo da Toyota, podendo ser aplicado por empresas de qualquer negócio e em qualquer país ou região. Deve ser visto como um sistema de gestão para toda a empresa (LEAN INSTITUTE BRASIL WEBSITE).

O *Lean Thinking* ou o pensamento enxuto é uma estratégia de negócios para aumentar a satisfação dos clientes através da melhor utilização dos recursos. A Gestão *Lean* procura fornecer consistentemente valor aos clientes com os custos mais baixos (PROPÓSITO) através da identificação de melhoria dos fluxos de valor primários e de suporte (PROCESSOS) por meio do envolvimento das pessoas qualificadas, motivadas e com iniciativa (PESSOAS). O foco da implementação deve estar nas reais necessidades dos negócios e não na simples aplicação das ferramentas *Lean* (LEAN INSTITUTE BRASIL WEBSITE).

As práticas *Lean* envolvem a criação de fluxos contínuos e sistemas puxados baseados na demanda real dos clientes, a análise e melhoria do fluxo de valor das plantas e da cadeia completa, desde as matérias-primas até os produtos acabados, e o desenvolvimento de produtos que efetivamente sejam soluções do ponto de vista do cliente. Os resultados obtidos geralmente implicam aumento da capacidade de oferecer os produtos que os clientes querem, na hora que eles precisam, nos preços que estão dispostos a pagar, com custos menores, qualidade superior, "*lead times*" mais curtos, garantindo assim maior rentabilidade para o negócio (LEAN INSTITUTE BRASIL WEBSITE).

4.1.2 Os cinco princípios do pensamento enxuto

O pensamento enxuto criado pelo sistema Toyota de Produção tem como base cinco princípios que resumem o seu significado de acordo com o Lean Institute Brasil:

1) Valor:

O ponto de partida para a Mentalidade Enxuta consiste em definir o que é Valor. Diferente do que muitos pensam, não é a empresa e sim o cliente que define o que é valor. Para ele, a necessidade gera o valor e cabe às empresas determinarem qual é

essa necessidade, procurar satisfazê-la e cobrar por isso um preço específico para manter a empresa no negócio e aumentar os lucros via melhoria contínua dos processos, reduzindo os custos e melhorando a qualidade.

2) Fluxo de Valor:

O próximo passo consiste em identificar o Fluxo de Valor. Isso significa dissecar a cadeia produtiva e separar os processos em três tipos: aqueles que efetivamente geram valor, aqueles que não geram valor, mas são importantes para a manutenção dos processos e da qualidade e, por fim, aqueles que não agregam valor, devendo ser eliminados imediatamente. Apesar de continuamente olharem para sua cadeia produtiva, as empresas buscam reduções de custos sem o exame da geração de valor, pois olham apenas para números e indicadores, no curto prazo, ignorando os processos reais de fornecedores e revendedores. As empresas devem olhar para todo o processo, desde a criação do produto até a venda final (e, por vezes, inclusive o pós-venda).

3) Fluxo Contínuo:

Em seguida, deve-se dar "fluidez" para os processos e atividades que restaram. Isso exige uma mudança na mentalidade das pessoas. Elas devem deixar de lado a idéia que têm de produção por departamentos como a melhor alternativa. Constituir Fluxo Contínuo com as etapas restantes é uma tarefa difícil do processo. É também a mais estimulante. O efeito imediato da criação de fluxos contínuos pode ser sentido na redução dos tempos de concepção de produtos, de processamento de pedidos e em estoques. Ter a capacidade de desenvolver, produzir e distribuir rapidamente dá ao produto uma "atualidade": a empresa pode atender a necessidade dos clientes quase que instantaneamente.

4) Produção Puxada:

Isso permite inverter o fluxo produtivo: as empresas não mais empurram os produtos para o consumidor (desovando estoques) através de descontos e promoções. O consumidor passa a "Puxar" o fluxo de valor, reduzindo a necessidade de estoques e valorizando o produto. Sempre que não se consegue

estabelecer o fluxo contínuo, conectam-se os processos através de sistemas puxados.

5) Perfeição:

A Perfeição, quinto e último passo da Mentalidade Enxuta, deve ser o objetivo constante de todos envolvidos nos fluxos de valor. A busca do aperfeiçoamento contínuo em direção a um estado ideal deve nortear todos os esforços da empresa, em processos transparentes onde todos os membros da cadeia (montadores, fabricantes de diversos níveis, distribuidores e revendedores) tenham conhecimento profundo do processo como um todo, podendo dialogar e buscar continuamente melhores formas de criar valor.

4.1.3 Fundamentos da Produção Enxuta

A produção Enxuta, como mencionado anteriormente, foca na diminuição ou eliminação dos desperdícios tanto da produção quanto da empresa como um todo. Segundo Womack e Jones (1996), desperdício é qualquer atividade que absorve recursos como mão-de-obra e energia, mas não cria valor para o cliente final. A seguir seguem as definições dos três tipos de atividades que existem em um sistema produtivo:

- Atividades que agregam valor (AV):

São atividades que, aos olhos do cliente final, tornam o produto ou serviço mais valioso.

- Atividades necessárias mas que não agregam valor:

São atividades que, aos olhos do cliente final, não tornam o produto ou serviço mais valioso, mas que são necessárias a não ser que o processo atual mude radicalmente. Essas atividades são chamadas também de *muda* tipo 1.

- Atividades que não agregam valor (NAV):

São atividades que, aos olhos do cliente final, não tornam o produto ou serviço mais valioso e não são necessárias mesmo nas atuais circunstâncias. Essas atividades são chamadas também de *muda* tipo 2. A Produção Enxuta busca a eliminação dessas atividades.

A Figura 1 a seguir mostra uma comparação entre as atividades que agregam e que não agregam valor com relação à porcentagem do tempo que elas demandam em todo o fluxo de valor de um produto.

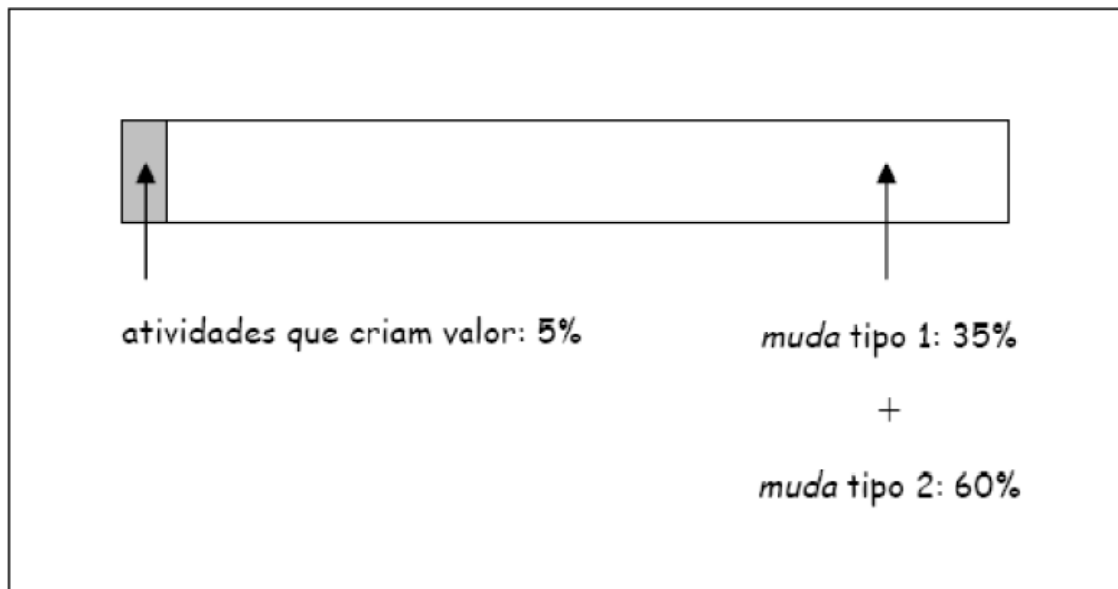


Figura 1 - Composição das atividades proposta por Hines e Taylor (2000)

(FONTE: ARAÚJO, 2004)

Observa-se que as atividades que agregam valor, ou seja, aquelas que realmente apresentam significado para o cliente representam apenas 5% do tempo que é gasto em toda a cadeia produtiva.

A Figura 2 mostra claramente a diferença entre os enfoques de um sistema tradicional de produção e o sistema de Produção Enxuta.

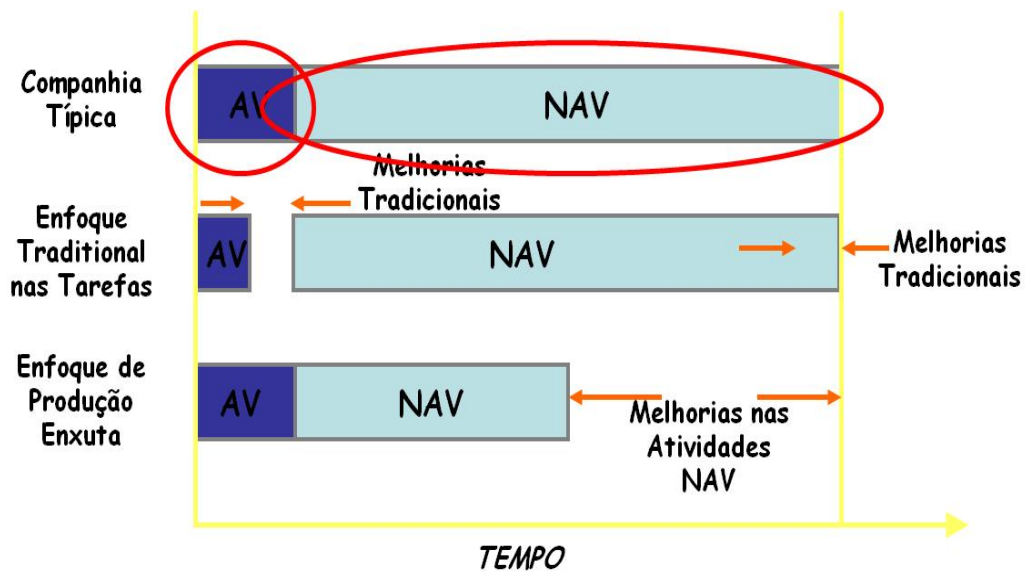


Figura 2 - O enfoque da produção tradicional e o enfoque da Produção Enxuta

(ADAPTADO DE ARAÚJO, 2004)

Nota-se que a principal preocupação de uma organização tradicional está em reduzir as atividades que agregam valor, ou seja, em investir na tecnologia dos processos, na otimização da fabricação, na compra de máquinas mais eficientes, etc. Esta redução afeta pouco o *Lead Time* ou o tempo de atravessamento do produto pela cadeia produtiva, dado que as atividades que agregam valor representam apenas 5% desse tempo. Por outro lado, o enfoque da Produção Enxuta é reduzir ou eliminar as atividades que não agregam valor, tais como tempos de espera, tempos de troca de ferramentas, movimentação de materiais e pessoas, ou seja, eliminar os desperdícios. Como estas atividades representam uma grande parcela do *Lead Time* do produto, sua redução proporciona uma grande queda deste tempo.

Segundo Ohno (1997), os desperdícios podem ser classificados em:

Superprodução: esse desperdício é caracterizado por produzir a mais do que o cliente absorve, gerando um excesso que se transforma em custos. É um desperdício muito comum e preocupante, pois pode ser a causa de outros desperdícios.

Estoque: é resultado da superprodução e gera consequências graves para a empresa, como o aumento do *Lead Time*, tempo que uma peça leva para percorrer

todo o processo produtivo, que está ligado diretamente com os giros de estoque de uma empresa. Portanto, quanto maior o *Lead Time*, maior a quantia de dinheiro parado na forma de estoques e conseqüentemente menos recursos para investimentos.

Transporte: desperdício gerado pela movimentação de peças, componentes, matéria-prima ou produtos acabados dentro da fábrica ou entre fábricas.

Movimentação: diferentemente do desperdício de transporte, esse desperdício está ligado à movimentação dos operadores quando não estão em atividades que agregam valor para o produto, ou seja, atividades em que a matéria-prima não está sendo transformada em produto acabado.

Defeitos: defeitos geram o retrabalho ou a perda da peça e em ambos os casos isso aumenta os custos que não agregam valor ao cliente. Portanto, a Mentalidade Enxuta prega em fazer o certo da primeira vez.

Processos desnecessários: todo processo que não agrega valor para o cliente deve ser eliminado, como inspeções e verificações, pois utilizam recursos da empresa e não são revertidos em ganhos adicionais.

Espera: o colaborador deve utilizar todo o seu tempo realizando atividades que agregam valor, portanto o tempo gasto com espera é considerado um desperdício que deve ser eliminado.

4.1.4 Ferramentas da Produção Enxuta

4.1.4.1 O 5S

Uma das técnicas de melhoria com maior visibilidade e participação é o 5S, que tem como principal objetivo organizar os postos de trabalho de forma a aumentar a produtividade e diminuir os desperdícios associados aos processos de negócio. Trata-se de uma filosofia básica para a implementação dos conceitos da Produção Enxuta. A técnica de melhoria do 5S foi criada no Japão e tem o seu

significado em cinco expressões japonesas: *Seiri*, *Seiton*, *Seiso*, *Seiketsu*, *Shitsuke*. De acordo com Correa & Correa (2004), os benefícios do 5S são:

- Maior motivação e empenho do trabalhador, devido a uma melhoria das condições do ambiente de trabalho
- Menor índice de acidentes, devido à limpeza e organização do ambiente de trabalho
- Maior produtividade, proporcionada pela organização e padronização

A seguir, cada um dos 5S's são definidos (RIBEIRO, 2006):

1º S – Seiri (Senso de utilização):

O primeiro S focaliza a sua atenção na eliminação dos itens desnecessários. Uma das metodologias mais utilizadas para esta fase é a colocação de etiquetas vermelhas nos itens que não são necessários para a conclusão das tarefas. Com a colocação das etiquetas vermelhas, pretende-se identificar de uma forma rápida, fácil e de grande visibilidade, os itens ou bens que não terão utilidade em um determinado local e que podem ser deslocados para outras zonas. Podemos apresentar como exemplos destes casos a existência de excessos de matérias-primas e produtos em vias de fabrico em inventário, armários, equipamentos e ferramentas desarrumados, mobiliário desnecessário, etc. Todos estes itens não indispensáveis são colocados em um armazém temporário, por exemplo, para se avaliar cuidadosamente a utilidade que eles possam ter futuramente.

Nesta fase as principais tarefas e questões a responder são basicamente duas: procurar e identificar itens desnecessários e deslocá-los para uma área temporária onde é deixado apenas o essencial, removendo os itens desnecessários ou em excesso.

2º S – Seiton (Senso de Ordenação):

Depois de uma primeira arrumação dos locais de trabalho, com a retirada de tudo que não é indispensável para a realização das tarefas, procede-se à criação de uma nova metodologia de organização dos postos de trabalho. O que se pretende nesta fase, é repensar toda a forma de trabalho, com a perspectiva de aumentar a

produtividade, eliminando perdas de tempo e de eficácia, através das seguintes tarefas:

- Identificar a melhor localização para os itens restantes (os necessários), para que possam facilmente ser utilizados e arrumados;
- Organizar a forma de mantê-los;
- Garantir a sua fácil localização e uso por todas as pessoas;
- Fazer com que as pessoas percebam facilmente quando algum item não está no local correto;
- Definir limites para estoques;
- Definir e implementar indicadores para monitorar a situação.

3º S – Seiso (Senso de Limpeza):

Neste momento, os locais ou postos de trabalho, encontram-se devidamente organizados, por terem apenas o que é necessário, nas quantidades necessárias e com uma perspectiva de aumentar a rentabilidade do trabalho.

O passo a seguir consiste em efetuar uma limpeza a fundo, bem como criar metodologias de controle para que as condições de limpeza e arrumação se mantenham. Para além das tarefas normais de limpeza, nesta fase deve-se também procurar analisar se os equipamentos se encontram em condições de uso, como por exemplo, realizando manutenções, calibrações, aferições, etc.

4º S – Seiketsu (Senso de Padronização):

A quarta fase do 5S foca na definição de uma metodologia que permita manter e controlar os três primeiros “esses”.

Uma forma de controle é a definição por escrito dos aspectos a serem controlados, de forma a atingir os objetivos traçados, como por exemplo, a definição de níveis de estoques mínimos e a periodicidade de limpeza dos postos de trabalho.

5º S – Shitsuke (Senso de Auto-disciplina):

A última fase do 5S consiste na necessidade de um trabalho contínuo, para que os esforços e recursos utilizados nesta metodologia sejam mantidos na empresa, cada vez com mais e melhores resultados.

Nesta etapa as principais preocupações são: assegurar a aderência à metodologia do 5S através de comunicação, auto-disciplina e garantir que o programa 5S se tornou um hábito para toda a empresa.

Para que todo o trabalho desenvolvido até esta fase não seja desperdiçado, torna-se necessário definir um sistema de medição e monitoramento das novas regras e práticas para que se consiga saber quando os resultados estão fora do que se esperava.

O 5S deve ser implementado na ordem em que foi apresentado acima. Inicialmente, deve-se eliminar o que não é necessário para, em seguida, organizar o posto de trabalho, eliminar as fontes de sujeira, criar procedimentos de limpeza, padronizar formas de armazenagem dos recursos e finalmente garantir a sustentabilidade com treinamentos e auditorias.

4.1.4.2 Fluxo Contínuo

A criação do fluxo contínuo na cadeia produtiva é um dos principais objetivos da Produção Enxuta. Cada vez mais as empresas buscam inserir o fluxo contínuo em suas operações, pois percebem que a técnica traz agilidade e redução de desperdícios na fábrica.

Produzir em fluxo contínuo significa processar 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. Também chamado de fluxo de uma peça ou fluxo de uma só peça (*one-piece flow*) o fluxo contínuo pode ser realizado tanto em linhas de produção ou montagem quanto em células manuais ou automáticas (ROTHER & HARRIS, 2001).

A Figura 3 ilustra uma situação em que o fluxo contínuo é utilizado.

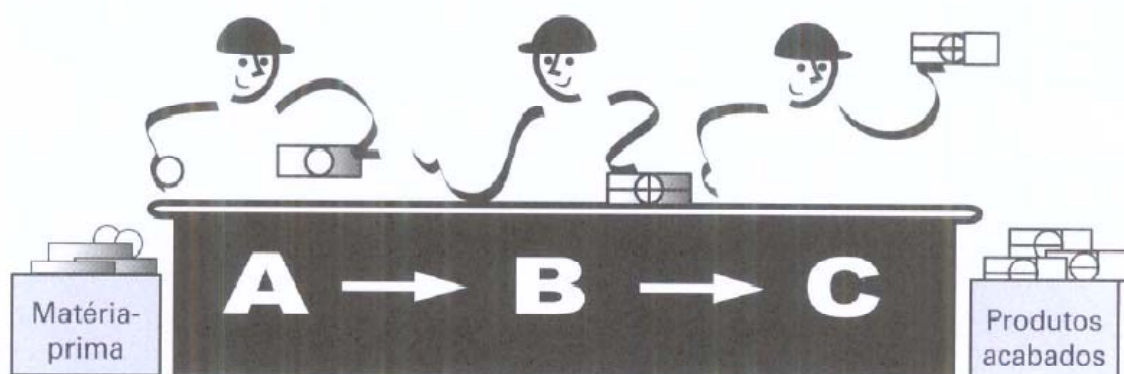


Figura 3 - Processamento em fluxo contínuo
(FONTE: LEAN ENTERPRISE INSTITUTE, 2007)

O fluxo contínuo permite que cada peça percorra seu fluxo de fabricação sem interrupção, evitando esperas, formação de estoques intermediários e superprodução, reduzindo a movimentação e o transporte. As máquinas ficam mais próximas umas das outras e em geral dispostas em um arranjo em forma de “U”, conhecido como células de produção, para redução da área física.

Uma célula, segundo Rother & Harris (2001), é definida como um arranjo de pessoas, máquinas, materiais e métodos em que as etapas do processo estão próximas e ocorrem em ordem seqüencial, através da qual as partes são processadas em fluxo contínuo. O *layout* físico de uma célula em “U” é o mais conhecido, mas muitas formas variadas são possíveis. As principais características de uma célula em fluxo contínuo são mostradas na Figura 4.

Além da eliminação do estoque em processo a utilização de células em fluxo contínuo possui vantagens relacionadas à qualidade, pois se torna mais rápida a percepção de defeitos e peças não-conformes, visto que o consumo das peças pelo processo seguinte é praticamente instantâneo (SILVA, 2007).

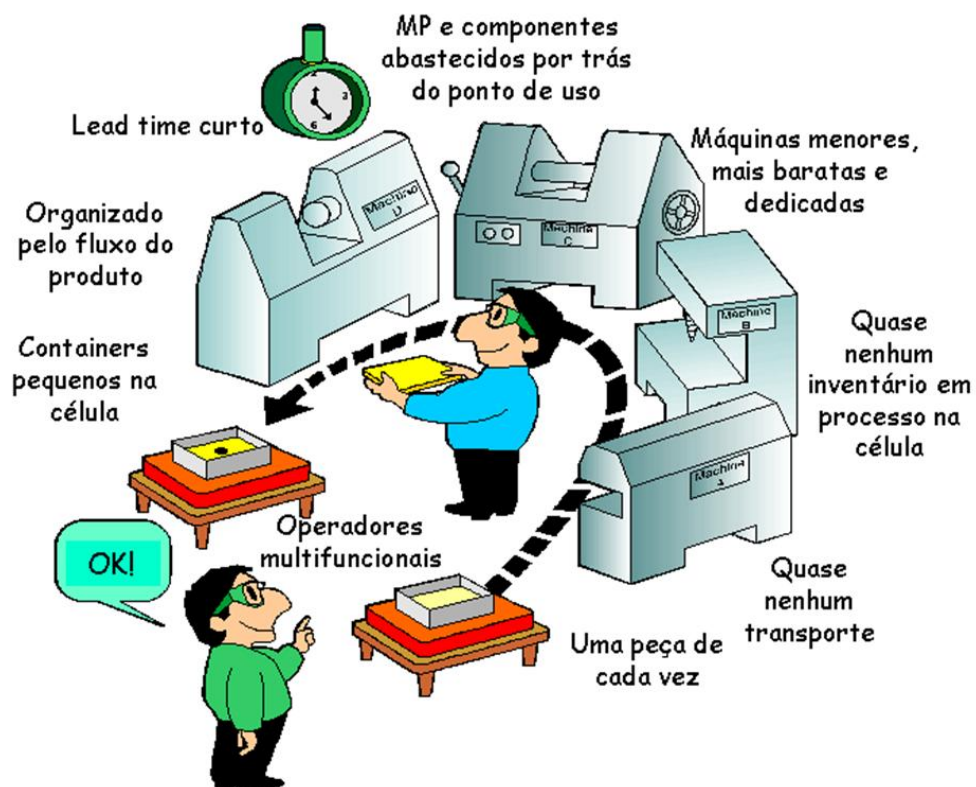


Figura 4 – Vantagens do fluxo contínuo no arranjo celular

4.1.4.3 Mapeamento do fluxo de valor

De acordo com Rother & Shook (1999), fluxo de valor é toda ação (agregando valor ou não) necessária para trazer um produto por todos os fluxos necessários a cada produto: o fluxo de produção desde a matéria-prima até o consumidor e o fluxo do projeto do produto, da concepção até o lançamento.

O mapeamento do fluxo de valor é uma ferramenta necessária na implementação da Produção Enxuta devido aos seguintes fatores (ROTHER & SHOOK, 1999):

- Auxilia na visualização do fluxo como um todo e não apenas dos processos isolados e desconectados
- Ajuda a identificar os desperdícios e também as fontes desses desperdícios
- Fornece uma linguagem comum para tratar dos processos
- Torna as decisões sobre o fluxo visíveis e facilita a discussão de todas as pessoas envolvidas
- Forma a base de um plano para a implementação enxuta
- É a única ferramenta que mostra a relação entre o fluxo de informação e o fluxo de materiais

O Mapa de Fluxo de Valor é um método utilizado para analisar e diagnosticar a situação atual além de auxiliar no planejamento da situação futura de uma empresa. É através dele que os gestores da empresa podem enxergar as oportunidades de melhoria na situação atual e projetar a situação futura com as ferramentas certas para atacar cada tipo de desperdício.

Para mapear um fluxo de valor é necessário conhecer todos os processos pelos quais o produto passa, desde a entrada da matéria-prima até a expedição do produto acabado. Em seguida, é necessário que estes processos sejam desenhados em seqüência um ao lado do outro, acompanhados da representação do cliente e dos fornecedores, respectivamente no fim e no início do fluxo. O mapa deve também conter as informações dos fluxos de materiais e de informação, representados por setas específicas em cada um dos fluxos. A Figura 5 a seguir exemplifica um mapa de fluxo de valor da situação atual com as informações citadas acima:

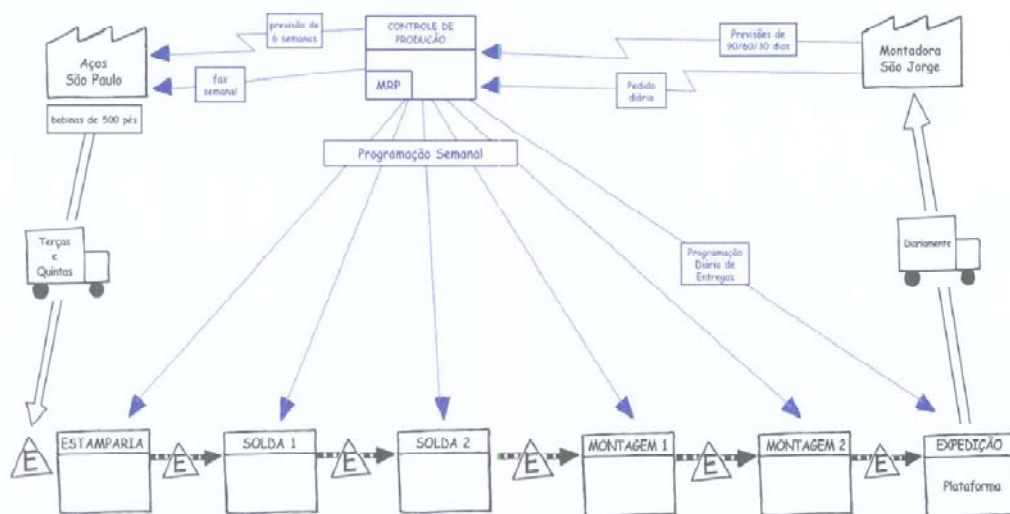


Figura 5 – Exemplo de um Mapa de fluxo de valor da situação atual
(FONTE: ROTHER & SHOOK, 1999)

Antes do início do mapeamento, é necessário que se escolha cuidadosamente quais produtos constituirão cada mapa. Para isso, são formadas as chamadas famílias de produtos. Uma família é um grupo de produtos que passam por etapas semelhantes de processamento e utilizam equipamentos comuns nos seus processos (ROTHER & SHOOK, 1999). A Figura 6 ilustra a seleção de uma família de produtos (A, B e C) que possuem cinco etapas de processamento em comum.

		Etapas de Montagem & Equipamentos							
		1	2	3	4	5	6	7	8
PRODUTOS	A	X	X	X		X	X		
	B	X	X	X	X	X	X		
	C	X	X	X		X	X	X	
	D		X	X	X			X	X
	E		X	X	X			X	X
	F	X		X		X	X	X	
	G	X		X		X	X	X	

Uma Família de Produtos

Figura 6 – Formação de famílias de produtos
(FONTE: ROTHER & SHOOK, 1999)

Formadas as famílias de produtos, o próximo passo é desenhar o mapa da situação atual para cada uma delas. Em seguida, devem ser listados todos os pontos de melhoria para se projetar a situação futura, que também é representada por um mapa de fluxo de valor.

Os mapas de fluxo de valor devem contar com algumas informações relevantes para a correta interpretação tanto da situação atual quanto da futura. Essas informações são obtidas a partir das chamadas métricas *Lean*, definidas a seguir (ROTHER & SHOOK, 1999):

➤ Tempo de ciclo (T/C):

É a frequência com que uma peça ou um produto são realmente completados em um processo, cronometrada como observado. Em outras palavras é o intervalo de tempo entre a saída de dois produtos consecutivos em um processo.

➤ Tempo de agregação de valor (TAV):

É a somatória dos tempos dos elementos de trabalho que efetivamente transformam o produto de uma maneira que o cliente está disposto a pagar.

➤ Lead Time (L/T):

É o tempo que uma peça leva para mover-se ao longo do todo um processo ou um fluxo de valor, desde o começo (matéria-prima) até o fim (produto acabado).

A situação futura deve ser elaborada a partir de uma seqüência de passos importantes para o mapeamento. Esta seqüência é mostrada a seguir:

1) Calcular o Takt time: É preciso definir o *takt time* do produto em questão a partir da demanda e do tempo disponível para produção, ou seja, definir o ritmo de produção necessário para que seja possível atender a demanda.

O *Takt time* é calculado da seguinte forma:

$$\text{Takt Time} = (\text{tempo de trabalho disponível para produzir}) / (\text{demanda do período})$$

2) Produzir para supermercado de produtos acabados ou para a expedição: Produzir para a expedição implica em um sistema produtivo confiável do início ao fim do processamento. Em alguns casos, como as empresas que atuam na política *Make-to-Order* (processamento sob encomenda), a única alternativa é produzir para a expedição.

3) Definir locais onde é possível estabelecer um fluxo contínuo de materiais: Nesses locais é possível atender a demanda da forma mais eficiente possível evitando alguns dos principais desperdícios, como superprodução e estoques.

4) Definir locais onde é necessário instalar sistemas de controle para fluxos puxados: Nos locais onde há a produção em lotes e não é possível aplicar o fluxo contínuo é necessário implementar supermercados de materiais. Esses supermercados visam que o processo anterior só produza o quê, quando e quanto o processo anterior necessita.

5) Definir o processo puxador: É necessário definir qual o único processo do fluxo que deverá ser programado. Esse processo é chamado de processo puxador e é ele que dita o ritmo dos demais processos. Este ponto é o último processo onde existe a produção puxada. A partir dele só deve existir transferências de materiais através de fluxo contínuo ou linhas FIFO.

6) Nivelar o *mix* de produção no processo puxador: Quanto mais se nivela o *mix* de produção no processo puxador mais eficiente é a resposta às diferentes solicitações de clientes.

7) Nivelar o volume de produção no processo puxador: Assim como o nivelamento do *mix* de produção, o nivelamento do volume de produção aumenta a chance de conseguir responder às diferentes solicitações dos clientes.

Para nivelar o *mix* e o volume de produção é normalmente utilizado o *heijunka box*. O *heijunka box* é um quadro onde é mostrada a programação do processo puxador. Para cada incremento *pitch* está programado para ser produzido um determinado produto. Um incremento *pitch* é dado pela multiplicação do *takt time* do

produto pela quantidade de produtos em uma embalagem. A Figura 7 ilustra o quadro de nivelamento da carga, o *Heijunka Box*:

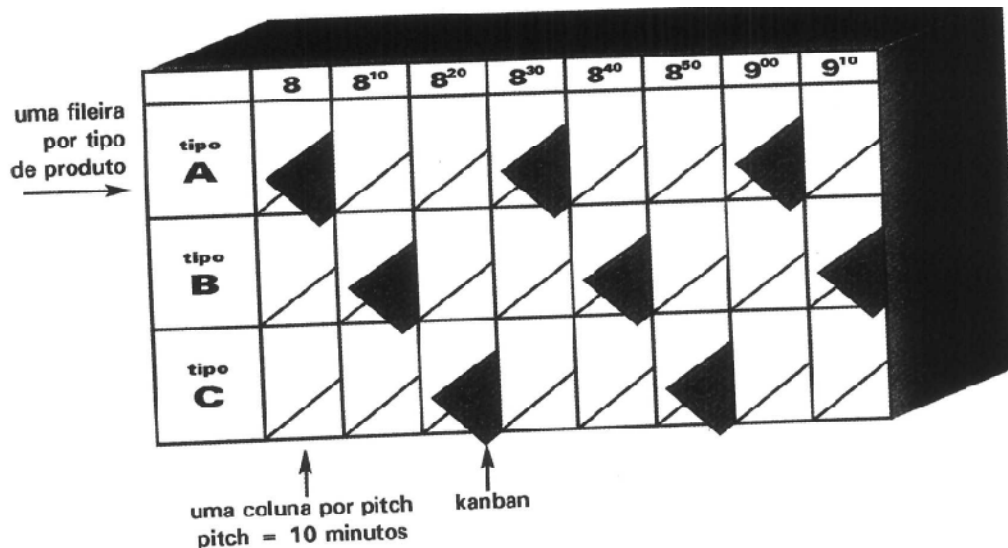


Figura 7 – Quadro de nivelamento da carga (Heijunka Box)
(FONTE: ROTHER & SHOOK, 1999)

8) Desenvolver a habilidade de fazer “toda peça todo dia”: Registra-se o tamanho do lote ou o TPT nas caixas de dados dos processos no mapa do fluxo de valor futuro. TPT significa “toda peça todo” ou “toda peça a cada”. Este valor descreve com que frequência um processo produz um determinado tipo de produto, ou seja, é o intervalo de tempo entre o início da produção de um lote de um tipo de produto e o início da produção do lote do mesmo tipo de produto novamente, depois de fabricar os outros tipos de produtos, fechando o ciclo do *mix* de produção.

Depois de concluído o mapeamento da situação futura é importante que sejam listadas as ações a serem tomadas para a formação do plano de ação que irá fazer com que a situação futura seja alcançada. A implementação dessas ações é feita por meio de *Kaizens* (ou eventos *Kaizens*), os quais serão detalhados no tópico a seguir.

4.1.4.4 A filosofia Kaizen

Após ter sido arrasado pela segunda guerra mundial, o Japão precisava reerguer-se economicamente e, a partir daí, os japoneses implementaram não só

nas empresas, mas também em suas vidas a filosofia do Kaizen, na qual nenhum dia deve passar sem que ocorra algum melhoramento. Anteriormente, a postura reativa imperava nas corporações, ou seja, as expectativas eram voltadas para as necessidades organizacionais. Hoje já existe a postura proativa, isto é, expectativas orientadas para o cliente. Neste contexto surgiram as técnicas de melhoria contínua do Kaizen que permitiram às empresas uma participação efetiva no mercado (ESPÍNDOLA, 1997).

O Kaizen, em poucas palavras, significa a busca do melhoramento contínuo em todos os aspectos, refletindo no aumento da produtividade e da qualidade com o mínimo de investimento.

De forma geral, mudanças feitas nos processos que objetivam melhorar continuamente as rotinas das empresas são intituladas de Kaizen. Neste subsistema de gestão visa-se eliminar as causas fundamentais que ocasionam os resultados indesejáveis e, a partir da introdução de novas idéias e conceitos, estabelecer novos “níveis de controle” (FALCONI, 1992).

Segundo Imai (1990), existem dez mandamentos a serem seguidos na metodologia Kaizen:

- O desperdício deve ser eliminado;
- Melhorias graduais devem ser feitas continuamente;
- Todos os colaboradores devem estar envolvidos, sejam gestores ou operadores do chão-de-fábrica;
- As melhorias devem ser feitas sem a necessidade de grandes investimentos. Deve-se usar a criatividade para a realização de mudanças simples que surtam grande efeito nos resultados;
- Aplica-se em qualquer lugar, e não somente dentro da cultura japonesa;
- Apóia-se numa gestão visual, numa total transparência de procedimentos, processos e valores. Torna os problemas e os desperdícios visíveis aos olhos de todos;
- Foco no principal local onde se realmente cria valor, ou seja, chão de fábrica;
- Orienta-se para os processos;
- Prioriza as pessoas e acredita que o esforço principal de melhoria deve vir de uma nova mentalidade e do estilo de trabalho das pessoas (orientação pessoal para a qualidade, trabalho em equipe, cultivo da sabedoria, elevação

do moral, auto-disciplina, círculos de qualidade e prática de sugestões individuais ou de grupo);

- O lema essencial da aprendizagem organizacional é “aprender fazendo”.

Segundo PERIN (2005), o efeito cumulativo das melhorias de pequena escala é freqüentemente maior que uma simples melhoria de grande escala. E é na implementação dessas melhorias de pequena escala que se encontram os eventos Kaizen.

Um evento Kaizen acontece quando uma equipe de trabalho focada e treinada realiza uma melhoria brusca em um processo, em um curto intervalo de tempo através de um intenso e dedicado trabalho. Durante o evento, após os treinamentos que a equipe recebe, uma análise é feita da situação atual e uma projeção é feita para a situação futura. Em seguida, o foco da equipe é trabalhar para que a situação atual chegue à situação futura desejada.

A equipe Kaizen deve ser composta por integrantes de diversas áreas da empresa e durante o evento todos realizam atividades diferentes daquelas com as quais estão habituados a fazer no dia-a-dia. É importante que o evento tenha o patrocínio e o apoio da alta gerência da empresa, como forma de estímulo e confiança de todos da equipe.

4.2 Ambientes de Produção *Engineer To Order* (ETO)

4.2.1 Tipologias de produção

Krajewski & Ritzman (1996) destacam três estratégias ou tipologias fundamentais de produção: Produção para Estoque (*Make to Stock* – MTS), Montagem sob Encomenda (*Assembly to Order* – ATO) e Produção sob Encomenda (*Make to Order* – MTO). Pires (2004) refere-se às estratégias de produção como uma classificação que divide os sistemas produtivos segundo sua forma de interação com os clientes na cadeia de suprimentos, ou seja, conforme o nível de interferência que o comprador pode ter no produto final. Pires (2004) destaca ainda

uma quarta estratégia, menos freqüente, mas importante em termos de tendências e de modelo de negócio: a Engenharia sob Encomenda (*Engineer to Order* – ETO).

Na Produção para Estoque (MTS), as empresas produzem itens padronizados para estoque com base em previsões de vendas. Pires (2004) ressalta que nesse caso a interferência dos clientes no ciclo produtivo é inexistente, salvo em momentos de pesquisas de mercado.

Na Montagem sob Encomenda (ATO), alguns componentes (geralmente itens de uso comum e de maior demanda) são produzidos para um estoque intermediário no qual permanecem até o fechamento de uma venda. Após o fechamento de um pedido realiza-se a segunda etapa do ciclo produtivo em que esses componentes serão utilizados na fabricação de produtos com especificações próprias (ROCHA, SCAVARDA & HAMACHER, 2005).

Na Produção sob Encomenda (MTO), geralmente a produção só é executada após a venda do produto, ou seja, produz-se mediante pedidos firmados em carteira. Significa que o processo de negócio “vender” antecede o processo “produzir” (ROCHA, SCAVARDA & HAMACHER, 2005). O que vai ser produzido sob encomenda pode variar desde um produto inédito, produzido de forma customizada, ou um produto escolhido entre um conjunto de opções (PIRES, 2004).

A Engenharia sob Encomenda (ETO) é uma extensão da estratégia MTO, em que a etapa de projeto e engenharia do produto é também realizada sob encomenda, ou seja, com base nas necessidades do cliente (ROCHA, SCAVARDA & HAMACHER, 2005). A ordem dos principais processos de negócios nessa estratégia é bem parecida com o caso da MTO, apenas com a inclusão do processo “projetar produto” logo após o processo “vender” (PIRES, 2004).

A Figura 8 a seguir realiza uma comparação entres os quatro tipos de ambientes de produção, descritos acima, com relação à localização dos pontos de estoque dos processos que aguardam a ordem de produção para produzir ou montar. A figura destaca ainda que, é a partir destes pontos de estoque que os processos começam a sofrer grande influência da variação da demanda, pois sua produção depende totalmente dela.

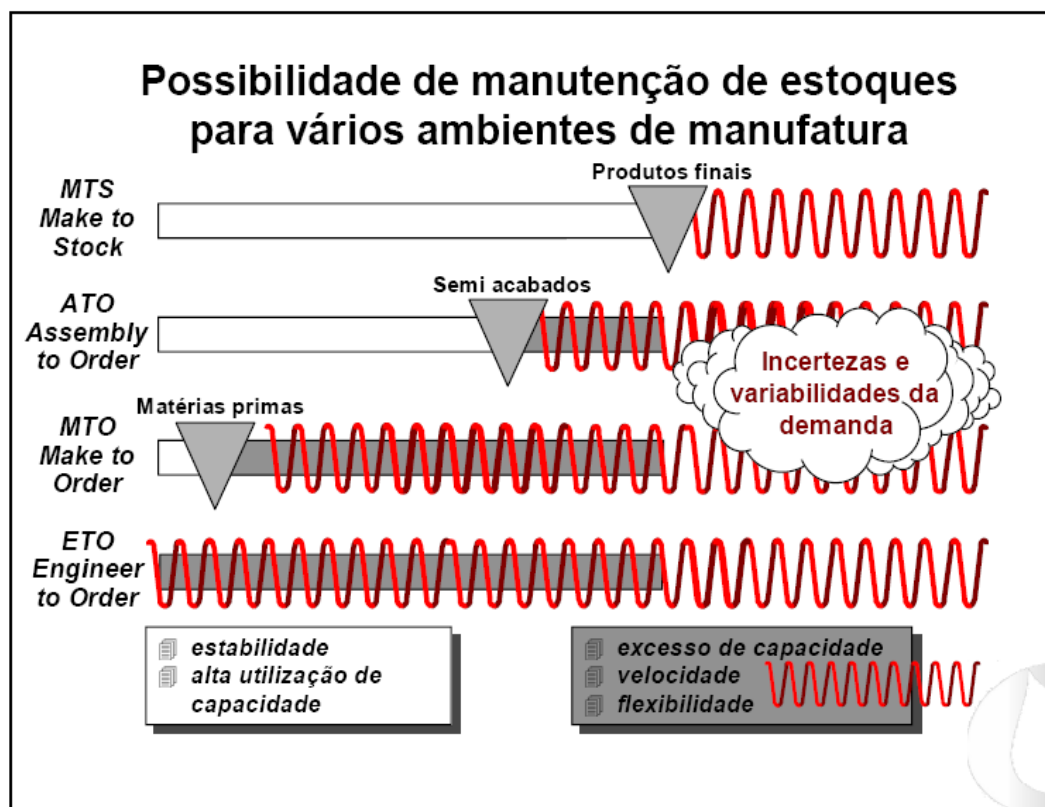


Figura 8 – Manutenção de estoques para os ambientes de manufatura
(FONTE: CORRÊA & GIANESI & CAON, 2008)

4.2.2 O ciclo de produção ETO

Várias mudanças têm ocorrido no que diz respeito à manufatura de bens de capital. Atualmente, os clientes têm alto poder de decisão frente a um produto, podendo exigir certos requisitos e particularidades em seus pedidos. De forma a obter maior competitividade as empresas de manufatura estão gradativamente transformando a natureza de seus processos de produção, que eram a maioria, de produção em massa e em grandes lotes, para lotes de tamanhos reduzidos e customizados. Um caso extremo de diminuição no tamanho dos lotes é o produto que é manufaturado apenas uma vez. Este tipo de produção, realizada sob encomenda, é chamado de “*One-of-a-Kind*”, ou simplesmente OKP (WORTMANN, MUNTSLAG & TIMMERMANS, 1997).

Na produção OKP é necessário desenvolver a produtividade e a qualidade dos serviços relacionados às atividades indiretas do ciclo de produção, tais como o orçamento, o projeto, o planejamento e o controle de qualidade. Quando o pedido do

cliente envolve um novo projeto há o aumento de uma parcela significativa de tempo no ciclo da produção. A engenharia de um produto absorve muito tempo e custo para ser executada, o que pode resultar em atrasos nos prazos de entrega, gastos imprevistos e até mesmo produtos não fabricados de forma adequada (WALTER & RIES, 1996).

O ciclo de produção em empresas que trabalham com engenharia sob encomenda, ou *Engineer-to-Order* (ETO), possui muitas diferenças em relação a uma situação de produção com engenharia padronizada. Empresas que trabalham com produção padronizada produzem para estoque, mediante projetos existentes, em lotes fabricados de acordo com planejamentos realizados com antecedência (BERNARDI & WALTER).

Em uma situação de produção OKP/ETO, primeiro ocorre a venda do produto, que então é projetado e fabricado. O processo de produção se inicia com a solicitação de um produto por parte de um cliente. Geralmente um cliente faz uma solicitação para vários fornecedores, e de acordo com as propostas enviadas ele faz a sua escolha. Se a fábrica verifica que é possível cumprir este pedido, a solicitação é repassada para um responsável que realiza uma engenharia simplificada, na qual são gerados custos, datas de entrega e uma estrutura de produto simplificada. Uma engenharia detalhada é então realizada se este pedido se tornar um contrato. As datas para cada tarefa ligadas a engenharia são geradas e a especificação técnica do produto é encaminhada para um engenheiro calculista que detalha a estrutura de produto e realiza todos os cálculos necessários quanto à quantidade de itens, preços, entre outros cálculos. Em seguida, os projetistas fazem os desenhos necessários e as compras de materiais e ferramentas podem ser disparadas. Então, inicia-se a fase de fabricação e de ensaios e testes, até finalmente o transporte e entrega do produto final (BERNARDI & WALTER).

Durante as fases de projeto e de especificações, muitas vezes é necessária a aprovação do cliente, o que é considerada uma fase crítica, pois as fases seguintes, como compra de materiais e fabricação dependem da qualidade e da rapidez das informações geradas nesta etapa (WALTER & RIES, 1996).

4.2.3 Características dos ambientes ETO

A indústria de bens de capital sob encomenda, também conhecida como ETO/MTO ("*Engineer to Order / Make to Order*"), apresenta características específicas, com fortes reflexos na gestão (MAXIPROD):

- Longos tempos de *Lead Time*, desde a elaboração da proposta até a montagem final;
- Riscos e custos resultantes da natureza única de cada contrato, começando pela elaboração da proposta;
- Finanças e contabilidade focadas nos contratos.

A combinação entre prazos, custos e riscos resulta um ambiente técnico e financeiro complexo, que exige processos de gestão adequados.

A proposta técnico-comercial de um produto ETO pode ter um custo alto, da ordem de dezenas ou mesmo centenas de milhares de dólares. Por outro lado, deve ser elaborada em tempo limitado, e resultar em um preço final realista. Vencer uma concorrência por um preço baixo demais pode ser mais prejudicial do que deixar de vencê-la. Além disso, a maior parte das propostas não se converte em pedido, de forma que o seu custo tem que ser diluído entre os contratos confirmados.

Na indústria ETO, a quantidade a ser produzida a partir de cada projeto é pequena. O custo da engenharia corresponde, portanto, a uma fração elevada do custo total de cada unidade produzida. Erros de engenharia resultam em altos custos adicionais (MAXIPROD).

4.2.4 Superposição entre etapas na Produção ETO

Os elevados *lead-times* e custos, e as conseqüências resultantes para o fluxo de caixa, estimulam a superposição entre as diferentes fases do desenvolvimento de um produto ETO, o que pode ser provido por mecanismos de ordenamento e comunicação (*workflow*) entre a engenharia, o planejamento, as compras e a produção. Pode ser desejável a elaboração de uma lista avançada de materiais críticos, de longo prazo de aquisição, mesmo antes de a engenharia elaborar a estrutura de produto detalhada.

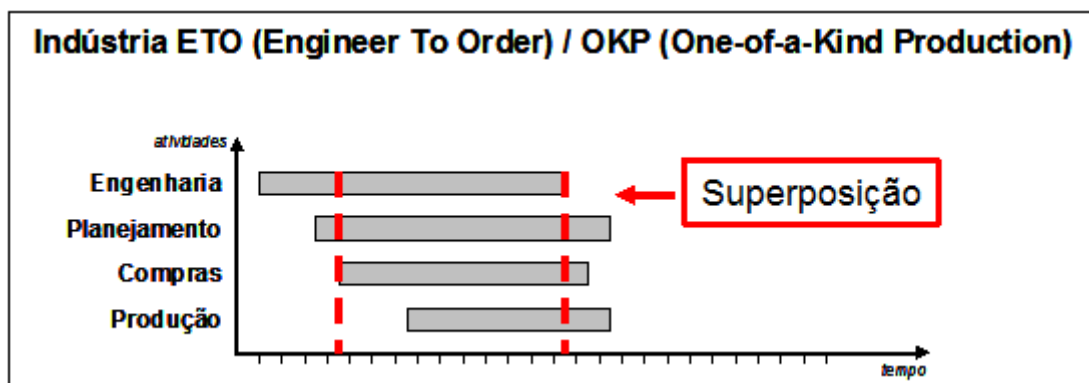


Figura 9 – Superposição entre etapas na produção ETO
(FONTE: MAXIPROD WEBSITE)

Na indústria MTS ("*make-to-stock*") a engenharia claramente precede as demais etapas (planejamento, compras e produção). Na realidade, antes do início da produção propriamente dita, são fabricadas séries "piloto", cuja finalidade é aperfeiçoar e estabilizar a engenharia de produto e as técnicas de produção.

A indústria ETO ("*Engineer-to-Order*"), pelo contrário, se caracteriza por séries pequenas ou unitárias, e por *lead-times* de produção longos, às vezes de meses ou mesmo anos. Como consequência, o fluxo de caixa é essencialmente desfavorável, independente de o custo ser absorvido pelo fabricante ou pelo cliente.

Para não alongar este processo além do mínimo necessário, é usual uma forte superposição entre as diferentes etapas: engenharia, planejamento, compras e a produção propriamente dita. Esta superposição impõe a necessidade de um ordenamento parcial entre essas etapas.

O produto ETO muitas vezes apresenta soluções inovadoras, o que o torna um "protótipo único" nesses aspectos. No entanto a combinação protótipo com superposição gera instabilidades. Iniciam-se compras e produção sem que a engenharia tenha sido completamente concluída; à medida que a produção evolui, pode também haver necessidade de alterações na engenharia, que por sua vez geram alterações nas compras e na produção. Neste ambiente, considerando-se os objetivos econômicos, é importante que haja mecanismos para (MAXIPROD):

- Cancelar rapidamente compras e produção inúteis
- Acelerar compras e produção úteis

Cada produto final é fabricado através de um conjunto de ordens de fabricação (OF's), sendo que a OF de um item consome outros itens, de nível imediatamente inferior na estrutura de produto. Cada OF é formada por uma seqüência de atividades, ou operações. A produção MTS, de bens de consumo, é relativamente rápida: pode-se assumir que as atividades de uma OF são consecutivas, e que todos os insumos de uma ordem de fabricação estejam presentes no início da sua primeira atividade. Na produção ETO de bens de capital, as atividades de uma OF podem não ser consecutivas, mas constituir uma rede de atividades similar às utilizadas na gestão de projetos, e uma atividade pode durar semanas. Para fins de planejamento de compras e produção, portanto, é interessante que se possa indicar em que atividade da OF é consumido cada insumo. Isto permite compras e produção mais sincronizadas, ou seja, não é necessário adquirir ou fabricar um insumo que será consumido bem mais tarde, mesmo considerando-se as folgas de segurança, permitindo uma produção mais enxuta (MAXIPROD).

Do ponto de vista financeiro, a longa duração dos contratos ETO torna necessário:

- Estimar na proposta os custos financeiros resultantes do descompasso entre *cash-in* e *cash-out*,
- Proteger as compras em moeda estrangeira da variação cambial por um mecanismo de *hedging*;
- Considerar projeções dos preços dos principais insumos

Os itens das ordens de compra e fabricação, e os itens estocados devem ser associados aos contratos e suas partes, e esta reserva deve ser respeitada pelo MRP e pelas baixas de insumos para o chão-de-fábrica.

Romaneio, *packing list*:

Se o local de montagem for distante da indústria, haverá diversas peças e subconjuntos a transportar. A gestão dos romaneios deve indicar, sobre a estrutura de produto, os itens já remetidos, e planejar, data a data, as remessas futuras, com controle das notas fiscais, volumes e veículos.

Gestão financeira e contábil focadas em cada contrato:

Tanto por requisitos gerenciais, como fiscais e contábeis, é necessária uma gestão apurada de cada contrato, incluindo:

- Previsões e acompanhamento dos recebimentos
- Projeções de custo (futuro) de material e mão de obra
- Adiantamentos de clientes e para fornecedores
- Adiantamentos de contratos de câmbio
- Contas a pagar
- Variações cambiais

O custeio por absorção considera não apenas os custos diretos, mas também o rateio dos custos indiretos, através dos centros de custos, exigindo modelos de contabilidade adaptados à produção ETO.

4.2.5 Problemas referentes à produção ETO

O ciclo da produção em um ambiente ETO, com a engenharia sob encomenda, pode ser sintetizado nas seguintes fases (BERNARDI & WALTER):

1. Engenharia simplificada, composta pela proposta;
2. Engenharia detalhada, na qual são gerados a estrutura de produto e roteiros de fabricação;
3. Planejamento, com a especificação do programa de compras e produção;
4. Fabricação

A engenharia constitui um dos maiores problemas com relação à qualidade e rapidez de todo ciclo. Ela é considerada uma atividade fortemente artesanal e, por isso, ineficiente. Frequentemente sua automação se restringe a aspectos isolados, tais como o desenho (CAD) ou rotinas de cálculo específicas de aplicações. No caso de produção em quantidades elevadas, a ineficiência é suportável, pois ela antecede a fabricação, sem problemas de superposição de tarefas (WALTER & RIES, 1996). Em produção OKP/ETO, pela complexidade das fases de produção, há uma forte superposição de tarefas, como explicado anteriormente no tópico 4.2.4.

Existe um alto grau de dependência humana ligada à produção OKP/ETO, visto que as soluções para os problemas estão ligadas às experiências dos

profissionais que trabalham nos pedidos. O acesso às informações e à tecnologia destas pessoas é difícil, criando dificuldades em formalizar estas informações.

A superposição existente entre as fases faz com que engenharia, planejamento e fabricação trabalhem paralelamente. A fase de engenharia está em constantes modificações, fazendo com que o seu planejamento trabalhe com uma estrutura de produto em modificações até quase o final do ciclo de produção (WALTER & RIES, 1996). Esta superposição gera comunicações constantes entre os setores de engenharia e planejamento. Falhas nesta comunicação geram atrasos na compra de materiais ou compras desnecessárias, fabricações em atrasos ou perda de trabalho caso um projeto tenha sido modificado e cujo cancelamento não tenha sido informado, entre outros graves problemas. Assim, é interessante que exista um mecanismo que assegure a qualidade desta comunicação.

Normalmente empresas OKP/ETO são especializadas em uma ou poucas linhas de produtos, sendo que estes produtos possuem grandes semelhanças entre si. Seria interessante, então, aproveitar estas semelhanças de forma a otimizar o trabalho de engenharia. Além disso, com a individualidade de cada produto há o excesso de especificações de novos itens, sem a busca pelo aperfeiçoamento dos padrões já estabelecidos. Há a necessidade de uma limitação das alternativas de projeto, reduzindo assim a grande variedade de processos (BERNARDI & WALTER).

De uma forma geral, as grandes ineficiências produtivas que as empresas ETO sofrem atualmente são decorrentes de um fluxo de informação ineficiente e da falta de um portfólio de produtos que sirvam como base para o desenvolvimento de novos produtos (plataforma de produtos), ou seja, de um planejamento estratégico dos produtos da empresa. Esses fatores fazem com que a engenharia e o desenvolvimento do produto sejam processos lentos e artesanais, sendo em muitos casos os grandes gargalos da cadeia produtiva. Em decorrência desses problemas, geram-se altos *Lead Times*, baixo nível de padronização provocando baixos níveis de qualidade e baixa performance de entrega para o cliente.

As dificuldades encontradas acima pelas indústrias ETO fortalecem a idéia de que é necessário um controle específico para este tipo de produção, diferente dos sistemas atualmente existentes, que auxilie a automação das atividades de produção em situações normais de produção (BERNARDI & WALTER).

4.2.6 Análise crítica do Lean em ambientes ETO

4.2.6.1 Aplicabilidade do Lean na indústria ETO

Como já mencionado anteriormente, é de grande importância que as características do ambiente do sistema produtivo no qual a Produção Enxuta está sendo inserida sejam levadas em consideração para que uma implementação adaptada e específica possa ser realizada. A seguir, algumas técnicas da Produção Enxuta são confrontadas com ambientes de produção ETO analisando-se a aplicabilidade de cada uma delas em indústrias deste tipo.

Organização do local de trabalho (5S):

Trata-se de uma simples organização de materiais, equipamentos, ferramentas e dispositivos que economiza tempos de *set-up* (troca de ferramentas) e de procura por peças e auxilia na identificação de desperdícios por todo o fluxo. O 5S exige baixo investimento e tem grande aplicabilidade na manufatura ETO. Deve ser utilizado sempre que possível para criar um ambiente de trabalho organizado, saudável, padronizado e disciplinado.

Controle e Gestão Visual:

A gestão visual é uma técnica que proporciona a qualquer pessoa da fábrica o entendimento de como está o andamento da produção em qualquer momento através de ferramentas visuais como quadros com gráficos, sinalização através de cores, luzes, etc. A principal idéia desta ferramenta é proporcionar a informação através de uma linguagem que seja comum a todos e que nada seja “escondido”, que tudo esteja “aos olhos” das pessoas. A gestão visual tem também grande importância em ambientes ETO, pois pode ser usada como uma ferramenta de gerenciamento de cada produto sendo desenvolvido, além de controlar cada processo no chão-de-fábrica. Por se tratar de uma produção com longos tempos de desenvolvimento e fabricação e, portanto, de difícil gerenciamento, cada pedido em andamento em uma indústria ETO pode ser visualizado em um quadro de programação que exiba os *status* de cada processo e retorne a situação deste pedido.

Redução de *set-up*:

Esta técnica identifica detalhadamente todos os passos necessários no processo de troca de ferramentas. Primeiramente são listadas todas as oportunidades de redução/eliminação do tempo de paradas de máquina e, em seguida, são identificadas as atividades que podem ser realizadas externamente ao *set-up*, ou seja, atividades que podem ser efetuadas quando a máquina ainda está operando com a intenção de diminuir os tempos de parada. A redução dos tempos de *set-up* aumenta a capacidade produtiva da máquina, reduz o tempo de espera e o tamanho de lotes, auxilia no uso do fluxo contínuo e aumenta a flexibilidade de produção.

Nos casos em que a produção é ETO, a redução de *set-up* é aplicável e pode trazer grandes ganhos de produtividade. Trata-se de uma grande oportunidade de redução de tempo de fabricação dado que os lotes são praticamente unitários e os produtos não são idênticos entre si, forçando a troca constante de ferramental para produzir uma grande variedade de peças. Deste modo a redução de *set-up* impacta fortemente em muitos casos de produção sob encomenda.

Redução de *Lead Time*:

Para uma efetiva redução de *Lead Time* de fabricação é necessário que sejam identificadas todas as atividades dentro dos processos incluindo a medição de tempos e de movimentação de materiais e pessoas. Em seguida, cada atividade é classificada de acordo com a agregação ou não de valor ao produto. O grande desafio é então tentar eliminar ou reduzir as atividades que não agregam valor tais como tempos de espera, alta movimentação, superprodução, etc. Com isso, busca-se uma redução de *Lead Time* que melhore a responsividade (capacidade de responder rapidamente às mudanças do mercado) e a performance de entrega da empresa.

Em ambientes ETO, a redução de *Lead Time* é altamente recomendável e pode ser iniciada através da medição da movimentação das peças pela fábrica através dos *spaguettis* (caminhos pelos quais as peças passam entre os processos desde a entrada até a saída da fábrica). Uma redução desta movimentação a partir da mudança de *Layout* que aproxime as máquinas a partir da seqüência de

fabricação das famílias de produtos, por exemplo, pode contribuir fortemente na redução do *Lead Time* de entrega para o cliente.

Trabalho Padronizado:

O trabalho padronizado é usado para estruturar as atividades do trabalho e promover a repetibilidade dos processos. Os métodos de padronização do trabalho identificam todas as atividades a serem realizadas e as organizam na melhor seqüência, usando a combinação de recursos mais eficiente incluindo pessoas materiais, métodos e máquinas. Sua aplicabilidade em indústrias ETO também é alta, pois contribui com a organização do trabalho, redução do tempo de processamento e com a redução do retrabalho e do número de defeitos.

Produção puxada:

A produção puxada, que faz referência ao sistema Kanban, é uma técnica que controla o fluxo da produção a partir do princípio de que um processo só produz o que o processo seguinte consumir de seu estoque, chamado de supermercado. Quando este processo seguinte, também conhecido como processo consumidor, retira uma peça do estoque do processo anterior para processá-la, um Kanban (cartão de sinalização) é enviado para este último avisando-o de que esta peça foi retirada e precisa ser reposta no estoque. Em outras palavras, os processos posteriores “puxam” a produção dos processos anteriores.

A técnica da produção puxada não é recomendável em ambientes ETO devido à alta variedade de produtos fabricados que pouco ou quase nunca se repetem. Além desse fator, na produção ETO, é baixo o risco de ocorrer superprodução e os materiais fluem pelos processos de uma forma mais lenta que em uma produção em massa. Portanto, não há a necessidade de controle efetivo dos estoques em indústrias desse tipo.

Mapeamento do fluxo de valor:

O mapeamento do fluxo de materiais e de informação é uma ferramenta extremamente eficiente na visualização holística dos processos e na identificação de oportunidades de melhoria, não só em ambientes ETO, mas em qualquer tipo de

produção existente. Como exemplo de identificação de melhorias, pode-se citar o mapeamento do fluxo de informação do setor de engenharia e desenvolvimento do produto em sistemas produtivos ETO. Como visto anteriormente, a engenharia é um dos maiores gargalos nestes ambientes e uma melhoria em seu fluxo de informação poder trazer ganhos significativos.

Conclui-se, a partir das análises acima, que a maioria das técnicas e ferramentas da Produção Enxuta é total ou parcialmente aplicável em ambientes de produção ETO ou sob encomenda. Grandes melhorias podem ser conseguidas com a introdução da filosofia *Lean* mesmo com a alta complexidade e peculiaridade destes ambientes de produção. O próximo passo é identificar os principais pontos de melhoria para então realizar a proposição de técnicas e métodos da Produção Enxuta que eliminem eficientemente os principais desperdícios nas indústrias ETO.

4.2.6.2. Dificuldades da introdução do Lean na indústria ETO

A busca por melhorias nos sistemas produtivos baseadas nos conceitos da manufatura enxuta está cada vez mais comum e freqüente nas empresas de diversos setores. Segundo uma pesquisa realizada em 2003 pelo Instituto de Performance da Indústria Manufatureira, as metodologias de implementação de melhorias mais populares adotadas pelas empresas eram aquelas baseadas na Produção Enxuta (cerca de 35,7%). Contudo, apenas 5,9% eram consideradas implementações finalizadas com êxito. Em empresas *Engineer to Order* os mesmos projetos de melhoria têm um percentual ainda menor de satisfação.

À primeira vista, o *Lean Manufacturing* parece não ser aplicável em ambientes de produção ETO. Um dos focos das ferramentas *Lean* é a redução sistemática de estoques intermediários e de produtos acabados e isto pode intimidar as empresas ETO a adotarem as práticas *Lean*, visto que, em empresas deste tipo não existem problemas relacionados a grandes quantidades de inventários como nas empresas de produção em massa. A indústria ETO é caracterizada por fabricar produtos altamente customizados, cujos componentes não são repetitivos e nem produzidos em alto volume. A redução de inventário não traz uma redução direta de custos em

empresas *Engineer to Order*, ao contrário do que acontece nas empresas de produção em massa.

Contudo, o *Lean Manufacturing* vai muito além de apenas reduzir a quantidade dos estoques da empresa. Como já mencionado neste trabalho, os conceitos da Produção Enxuta estão diretamente relacionados ao aumento da qualidade dos processos, à redução de refugo, retrabalho e de *Lead Times* de fabricação, à organização e padronização do trabalho, ao aumento de produtividade, dentre outras melhorias. Portanto, trata-se de uma filosofia de trabalho que pode trazer ganhos para qualquer tipo de empresa, independentemente de sua tipologia de produção. No entanto, a introdução das práticas *Lean* nas empresas ETO tem se mostrado difícil e pouco eficiente. Um dos grandes motivos que contribui para o insucesso das implementações é a não-continuidade dos projetos de melhoria por toda a empresa. Em muitos casos, a introdução das ferramentas *Lean* é realizada apenas no chão-de-fábrica, ou seja, apenas em processos de fabricação, relacionados diretamente com a produção. O *Lean Enterprise* abrange toda a organização e mostra que as grandes oportunidades de melhoria estão nos processos administrativos, nas atividades de escritório e no fluxo de informação. A eliminação de desperdícios em atividades como as de engenharia, orçamento de produtos, compra de matéria-prima e aprovação de projetos pode trazer ganhos significativos.

Outras barreiras que dificultam a introdução do *Lean* nas organizações *Engineer to Order* estão relacionadas à própria cultura deste tipo de empresa. Muitas dessas empresas foram criadas com a liderança de uma família que investiu em determinado setor da indústria. O crescimento dessas empresas foi, na maioria das vezes, rápido e não-estruturado e sua posição no mercado foi conseguida através do fornecimento de produtos mais baratos que os da concorrência e com baixos *Lead Times* de entrega. Esta cultura se mostra resistente à introdução de novas tecnologias e de novos processos que trazem resultados em longo prazo. A transformação *Lean* de uma organização demanda tempo e comprometimento de todos, principalmente dos donos e da alta gerência. Em pequenas empresas ETO, dificilmente existem pessoas que podem dedicar todo o seu tempo e atenção necessários para a implementação de melhorias, mesmo com a promessa de bons resultados.

5. DEFINIÇÃO DO MÉTODO

Como destacado anteriormente, na Revisão Bibliográfica deste trabalho, o principal foco de melhorias e ganhos em indústrias do tipo ETO está localizado na etapa de desenvolvimento dos produtos, ou seja, nos processos realizados pela Engenharia que envolvem o projeto técnico dos produtos. Tais processos consomem longos e variáveis *lead times*, apresentam baixo nível de padronização e alto grau de incertezas devido à grande quantidade de informações específicas oriundas dos clientes para cada tipo de produto. Desta forma, o estudo de caso realizado neste trabalho é baseado em técnicas e métodos que serão aplicados em atividades específicas que envolvem a fase de Desenvolvimento de Produtos de uma empresa do tipo ETO. Assim, serão analisados os principais benefícios que podem ser conseguidos para toda a empresa através de melhorias implementadas no planejamento, controle e gerenciamento dos projetos em desenvolvimento.

O método escolhido para o desenvolvimento do estudo de caso deste trabalho é o de gerenciamento de projetos pela Corrente Crítica, criado pelo físico israelense Eliyahu M. Goldratt, em 1997. Algumas ferramentas e conceitos da Produção Enxuta serão adaptados ao método para uma aplicação específica no caso em questão.

5.1 Método

O sistema de gerenciamento de projetos baseado na Corrente Crítica pode ser considerado um dos maiores avanços nesta área nos últimos 30 anos. Desde sua origem na Teoria das Restrições, esta metodologia tem despertado o interesse de diversos pesquisadores da área e gerentes de projeto que buscam novas opções para a forma com que gerenciam seus projetos tradicionalmente (QUELHAS & BARCAUI).

O método da Corrente Crítica foi baseado na Teoria das Restrições (TOC – *Theory of Constraints*), também desenvolvida por Goldratt. Esta teoria visualiza a empresa não em partes isoladas, mas como um sistema integrado, cujas partes devem se relacionar de forma harmônica. O desempenho global da organização depende dos esforços conjuntos de todos os elementos que a compõem. Assim

como em uma corrente, uma empresa é tão “forte” quanto seu elo mais fraco. Desta forma, para promover uma melhoria em todo o sistema é necessário identificar e atuar na principal restrição, pois é ela quem dita o ritmo dos demais elementos (QUELHAS & BARCAUI).

Segundo Goldratt (1990), uma restrição é qualquer processo ou atividade que impeça que o sistema atinja um desempenho maior ou igual à sua meta. Portanto, é fundamental que a meta e as medidas quem avaliam o sistema estejam bem definidas antes de qualquer ação sobre supostas restrições. A Teoria das Restrições propõe 5 passos para um aumento de performance de uma cadeia produtiva:

1. Identificar a restrição
2. Decidir como explorar a restrição
3. Subordinar e sincronizar todo resto à decisão acima
4. Elevar a performance da restrição
5. Se em qualquer um dos passos anteriores, a restrição principal for alterada, volte ao passo 1.

A TOC (Teoria das Restrições) pode ser aplicada em diversas situações tais como a cadeia de suprimentos, a contabilidade, o desenvolvimento de produtos e o gerenciamento de projetos. A adaptação da TOC à gerência de projetos originou a Corrente Crítica.

A Corrente Crítica (CCPM – *Critical Chain Project Management*) pode ser definida como uma abordagem gerencial e de diagramação de rede, que leva a uma significativa melhora na performance de projetos. A CCPM quebra diversos paradigmas que predominaram por muito tempo no planejamento e controle de cronogramas de projetos. O principal paradigma quebrado é de que a segurança ou o tempo adicionado ao projeto como folga para possíveis atrasos deve ser inserida em cada atividade individualmente. Existe uma tendência natural de que as pessoas responsáveis pelas tarefas estimem a duração de suas atividades em pelo menos 40% a mais do que a média de duração das mesmas atividades. Isto se deve ao fato de que as pessoas superestimam os tempos de execução das atividades para evitarem futuras cobranças e, desta forma, permanecerem na sua zona de conforto. A experiência mostra que quanto mais experiente é o recurso, maior é a segurança

inserida (QUELHAS & BARCAUI). O gráfico 1 mostra que a maior probabilidade de duração de uma tarefa corresponde à sua duração média (13 dias). Quanto maior é a duração estimada maiores são as chances de finalizar a tarefa no prazo. Contudo, maior será o tempo de duração de todo o projeto. A inserção da segurança replicada para todas as tarefas do projeto leva a um aumento desnecessário na duração do projeto, comprometendo o seu sucesso.

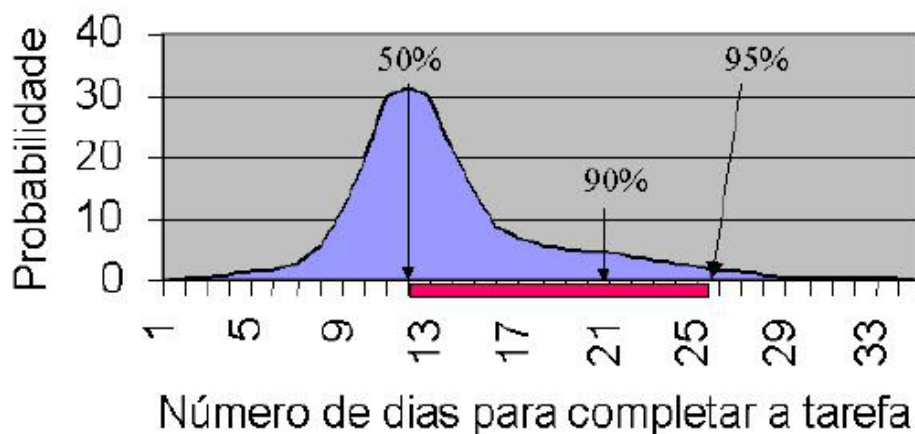


Gráfico 1 - Âmbito das estimativas de tempo para uma tarefa

(FONTE: QUELHAS & BARCAUI)

A Corrente Crítica sugere uma brusca diminuição na duração estimada da tarefa, cerca de 50%. Isto pode parecer muito agressivo ou até mesmo impossível para os responsáveis pelas tarefas, embora esta redução resulte na duração média da tarefa. No entanto, a diminuição da segurança colocada em cada tarefa torna o projeto bem mais vulnerável a possíveis atrasos derivados das mudanças e das incertezas a que todo projeto é submetido. A CCPM busca absorver tais atrasos com a inserção da segurança no final do projeto. Desta forma, todas as seguranças retiradas de cada tarefa individual são agrupadas formando uma única segurança que protegerá todo o projeto.

Outro paradigma quebrado pela CCPM é a redução significativa da multitarefa, que pode ser altamente prejudicial ao projeto. A multitarefa é definida como a realização das tarefas de um projeto em pequenas partes, alternando-se entre todas as tarefas, por um mesmo recurso. Neste caso, o recurso intercala sua atuação entre as diversas tarefas atrasando assim o término de todo o projeto. Isto

ocorre porque quanto mais interrupções acontecem, maiores são os tempos de adaptação para reiniciar as tarefas interrompidas. As tarefas vão sendo iniciadas, mas não finalizadas antes de se prosseguir para a tarefa seguinte. O conceito da multitarefa é ilustrado na figura 10. A Corrente Crítica propõe a eliminação da contenção de recursos durante o desenvolvimento do diagrama de rede. Isto significa que cada tarefa só é iniciada quando a tarefa antecessora é finalizada. O procedimento de analisar a ocupação de cada recurso da rede evitando a multitarefa é o que difere a Corrente Crítica do tradicional método CPM (*Critical Path Method*), inventado em 1958, que só considerava as dependências entre as tarefas.

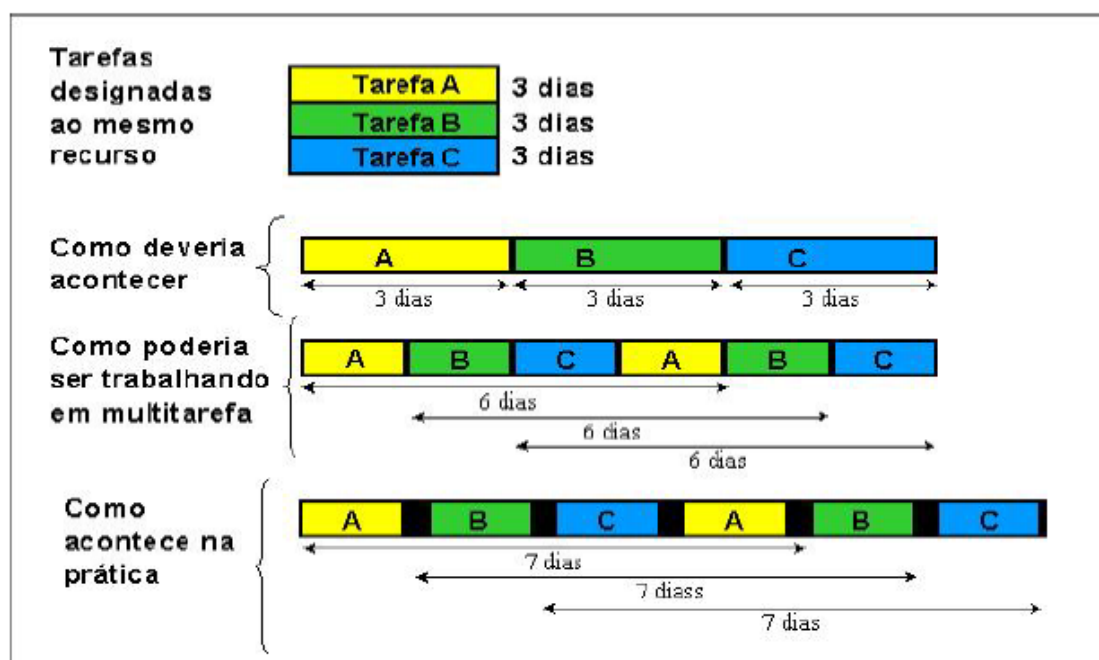


Figura 10 - Atrasos no cronograma do projeto causados pela multitarefa

(FONTE: QUELHAS & BARCAUI)

A CCPM também discorda da CPM quanto ao momento mais indicado para se começar uma atividade. O método do Caminho Crítico (CPM) aconselha iniciar a atividade na sua data mais cedo, ou seja, quanto antes a atividade começar, melhor. A Corrente Crítica defende iniciar a atividade na data mais tarde. As vantagens desta quebra de paradigma são evidentes: são reduzidos os impactos de mudanças em trabalhos já realizados; evita-se o investimento antecipado em recursos e também a perda de foco ao se começar vários caminhos ao mesmo tempo (QUELHAS & BARCAUI).

Com a inserção da segurança no final do projeto e com a eliminação da contenção de recursos na rede, é definida a corrente crítica do cronograma. Trata-se do caminho que define a duração total do projeto. Em analogia a uma cadeia produtiva, a corrente crítica é equivalente ao gargalo de uma linha de produção, que dita o ritmo dos demais elementos do sistema e sempre deve ser protegido contra os fatores que possam atrapalhar o seu desempenho.

5.1.1. Passos para a aplicação do método

A criação de um diagrama de rede com base na CCPM envolve basicamente 5 passos, os quais são detalhados a seguir:

1º Passo: Criar a rede

Nesta etapa, todas as atividades do projeto devem ser organizadas em um diagrama de rede que mostra as relações de precedências entre elas e a alocação de cada recurso. Neste diagrama devem ser inseridas também as durações das atividades sugeridas pelos seus responsáveis. A figura 11 exibe um exemplo de um diagrama de rede de um projeto simples com dois caminhos em paralelo e 22 dias de duração. As cores das atividades representam os recursos.

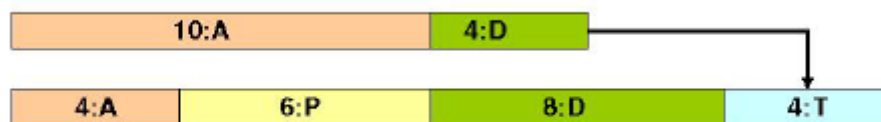


Figura 11 - Criação do diagrama de rede com as estimativas de duração das atividades

(FONTE: QUELHAS & BARCAUI)

2º Passo: Usar os tempos médios de duração por atividade

Conforme explicado anteriormente, a Corrente Crítica sugere uma redução de cerca de 50% no tempo de duração de cada atividade do projeto. Assim, pretende-se aproximar os tempos o máximo possível da média de duração das atividades. Em seguida, devem ser utilizados os tempos mais tarde para o início das atividades.

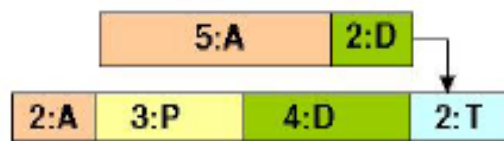


Figura 12 - Diagrama de rede com base nos tempos médios de duração por atividade

(FONTE: QUELHAS & BARCAUI)

3º Passo: Eliminar a contenção de recursos e identificar a corrente crítica

Depois de criada a rede, toda a contenção de recursos deve ser eliminada para facilitar a identificação da corrente crítica. No exemplo em questão (Figuras 11 e 12), os recursos A e D precisariam realizar duas tarefas em paralelo ao mesmo tempo, o que é impossível. A partir de um rearranjo do diagrama os recursos são organizados de tal forma que não haja este tipo de conflito. Em seguida a corrente crítica é identificada (Figura 13) como sendo o caminho de maior duração do projeto, levando-se em consideração a dependência entre as atividades e também entre os recursos.

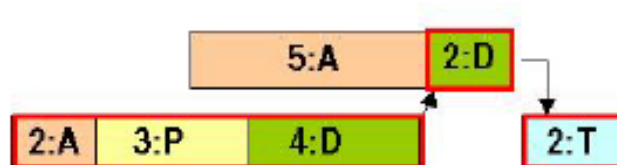


Figura 13 - Identificação da corrente crítica

(FONTE: QUELHAS & BARCAUI)

4º Passo: Proteger a corrente crítica

A fim de evitar ou amenizar os impactos que os possíveis atrasos podem trazer ao cronograma do projeto, o método da Corrente Crítica defende que uma segurança, também conhecida como “pulmão de projeto”, deve ser acrescentada ao final da corrente crítica da rede. Este pulmão corresponde a 50% das seguranças retiradas (2º passo) das atividades que pertencem à corrente crítica da rede. Desta

forma, seguindo o exemplo abaixo (Figura 14), foi acrescentado um pulmão de projeto (*Project Buffer*) de 6,5 dias à corrente crítica.



Figura 14 - Proteção da corrente crítica com o pulmão de projeto

(FONTE: QUELHAS & BARCAUI)

5º Passo: Gerenciar os pulmões do projeto

Nesta última etapa, é fundamental que o pulmão inserido seja controlado e gerenciado para garantir o término do projeto no tempo esperado. Conforme as atividades vão sendo finalizadas com atraso, o pulmão tende a diminuir. Para um efetivo gerenciamento do pulmão é necessário acompanhar freqüentemente o seu tamanho para que uma previsão realista do término do projeto possa ser feita.

O gerenciamento do pulmão de projeto é feito através de sua divisão em 3 pulmões de tamanhos iguais que são identificados por cores (verde, amarelo e vermelho). Uma vez que as estimativas por tarefa são de 50%, aproximadamente metade do tempo as tarefas terminarão mais cedo e metade do tempo mais tarde. É esperado que o tempo do pulmão seja consumido e também recuperado, na medida em que as tarefas vão terminando mais cedo ou mais tarde do que o determinado. Se o nível de consumo do pulmão permanecer na parte verde (primeiro terço do pulmão), nenhuma ação deve ser tomada. Quando o saldo do pulmão atingir a parte amarela (início do segundo terço sendo consumido) um plano de ação deve ser elaborado pelo gerente do projeto para recuperar o tempo perdido e retornar o pulmão ao nível verde. Neste caso, uma atenção especial deve ser dada às atividades da corrente crítica para deter um consumo ainda maior do pulmão. O plano de ação para recuperar o pulmão consumido pode sugerir a realização de horas extras, a alocação extra de recursos, uma troca de prioridades, dentre outras ações. Caso o pulmão do projeto entre no nível vermelho (início do terceiro terço sendo consumido) o plano de ação elaborado anteriormente deve ser colocado em prática o mais rápido possível. O principal objetivo neste momento é retornar o

pulmão ao nível verde. O sistema de gerenciamento do pulmão de projeto pode ser melhor visualizado na figura 15.

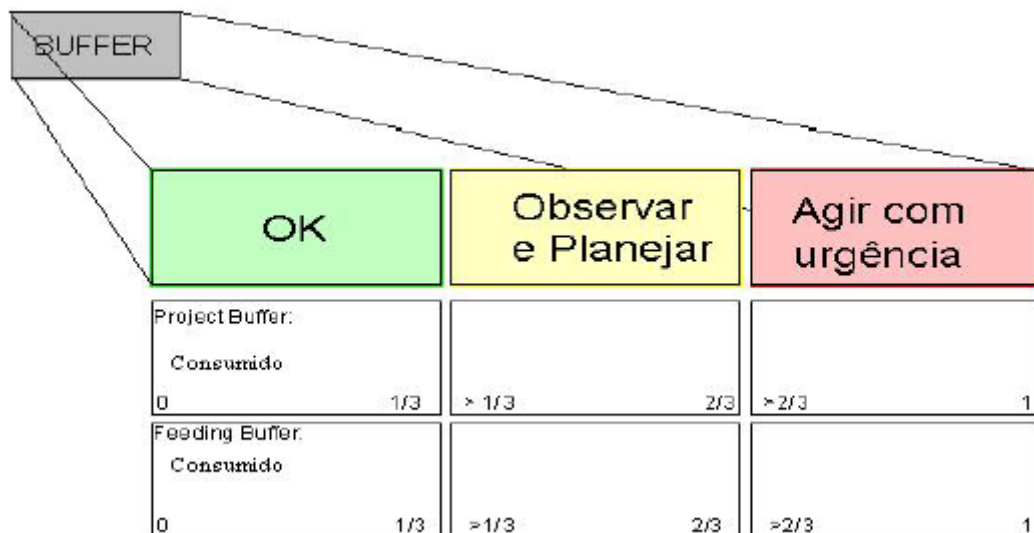


Figura 15 - Gerenciamento do pulmão de projeto (Project Buffer)
(FONTE: QUELHAS & BARCAUI)

5.2. Adaptações ao Método

O método da Corrente Crítica para gerenciamento de projetos foi aplicado em um caso específico cujas peculiaridades exigem que adaptações sejam feitas para uma melhor adequação à realidade do ambiente em questão. O estudo de caso deste trabalho foi realizado em uma empresa cuja tipologia de produção se encaixa nas características do *Engineer to Order* ou “Engenharia sob Encomenda”. Este tipo de ambiente apresenta altíssima variedade de produtos, baixos níveis de padronização dos processos e grandes oscilações no volume de trabalho de todo o fluxo. A aplicação do método será feita especificamente no departamento de Desenvolvimento de Produtos da empresa, onde se encontram os maiores problemas quanto ao cumprimento de prazos decorrentes da ausência de um gerenciamento e controle efetivos.

Primeiramente, foi decidido que o pulmão de projeto a ser colocado na corrente crítica dos projetos de desenvolvimento de produtos seria de 75% da segurança retirada das atividades, e não de apenas 50%, como sugere a literatura.

Esta adaptação foi realizada devido ao enorme grau de incertezas a que estes projetos estão submetidos. Os processos que envolvem a Engenharia durante o desenvolvimento de produtos de uma organização ETO estão sujeitos a inúmeras variáveis que dependem das decisões dos clientes e também da oscilante carga de trabalho do departamento. Portanto, a fim de proteger a corrente crítica dos projetos de forma segura, foi colocado um pulmão mais robusto.

Outra adaptação necessária para a inserção da segurança na corrente crítica foi a criação de um segundo tipo de pulmão, denominado de pulmão de fila. Este pulmão protege a corrente crítica contra o tempo em que o projeto ficará aguardando na fila para ser iniciado. A duração estimada das atividades do projeto considera que ele será iniciado logo que estiver disponível para o recurso. Na realidade, pode existir uma fila de projetos esperando para serem iniciados até que o recurso esteja livre para começá-los. O pulmão de fila foi calculado como sendo 40% da segurança retirada das atividades da corrente crítica.

As demais adaptações ao método escolhido são baseadas nos conceitos da Produção Enxuta. Na verdade, foram acrescentadas ao método algumas ferramentas *Lean* que auxiliaram o desenvolvimento do estudo de caso e mostraram como os conceitos da Produção Enxuta podem ser adaptados à indústria ETO. O gerenciamento dos projetos em andamento na Engenharia, por exemplo, foi realizado através de quadros que mostram todas as atividades do projeto na forma de tabela ao invés do tradicional diagrama de rede. Esta gestão visual possibilitou a exibição de informações como o tempo restante para o cumprimento do projeto no prazo, a soma das atividades ainda não concluídas e a quantidade de atraso acumulado até o momento. Ferramentas como o mapeamento do fluxo de informação e a divisão dos produtos em famílias também foram utilizadas para diagnosticar os principais problemas do fluxo e projetar uma situação futura ideal. Além disso, um quadro de alocação de recursos também foi criado para gerenciar a ocupação de cada recurso do departamento, otimizando assim a distribuição da carga de trabalho entre todas as pessoas.

6. APLICAÇÃO NO CASO

6.1 Apresentação da empresa

O estudo de caso desta monografia foi realizado em uma empresa localizada na cidade de Piracicaba, no interior do estado de São Paulo. Os dados e as informações necessários para o desenvolvimento do estudo foram adquiridos com o auxílio de uma equipe de melhoria da própria empresa. A implementação do método descrito anteriormente foi realizada no ano de 2009.

A empresa em questão é de pequeno porte, com um quadro de aproximadamente 50 funcionários, e pertence ao setor industrial metal-mecânico. Os principais produtos fabricados são as bombas centrífugas hidráulicas e válvulas de configurações e tamanhos variados. Os principais ramos de atuação desses produtos são os seguintes:

- Açúcar e álcool
- Papel e celulose
- Química e petroquímica
- Óleo e gás
- Mineração
- Saneamento
- Siderurgia
- Mecânica

Durante o desenvolvimento deste trabalho, esta empresa será nomeada de E1.

A seguir, são mostrados os quatro tipos de famílias de produtos fabricados, de acordo com a própria classificação da empresa:

1. Bombas industrializadas:

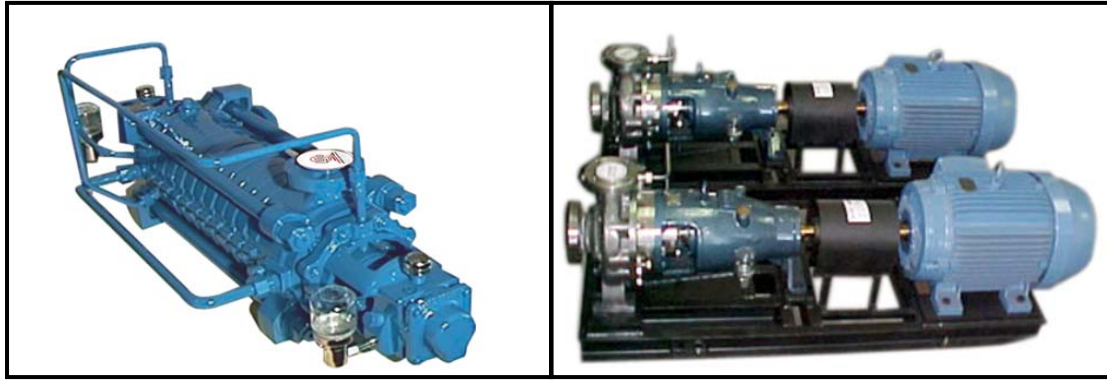


Figura 16 - Exemplos de bombas centrífugas industrializadas da empresa E1

2. Peças sobressalentes:

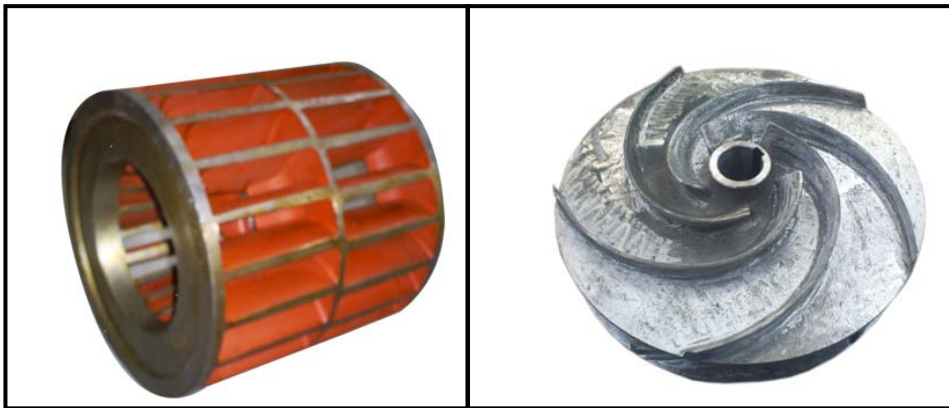


Figura 17 - Exemplos de peças sobressalentes da empresa E1

3. Manutenção:



Figura 18 - Manutenção de bombas centrífugas da empresa E1

4. Bombas termoplásticas:



Figura 19 - Exemplos de bombas termoplásticas da empresa E1

O tipo de produção da empresa E1 se enquadra nas características do *Engineer to Order* (ETO). Isto significa que a ordem para fabricar um produto, logo que vendido, é disparada na Engenharia da empresa, ou seja, existe a necessidade de projetar e desenvolver praticamente todo o produto antes que a fabricação inicie o seu trabalho. São inúmeras as possibilidades de configurações de produtos que a empresa pode oferecer, o que gera um baixo nível de padronização dos processos de negócio. Os clientes exercem um papel ativo em toda a fase de projeto e desenvolvimento fornecendo os dados e as requisições desejados. Cada produto vendido quase nunca é exatamente igual a outro produto já fabricado. As bombas solicitadas pelos clientes são altamente customizadas, com características muito específicas resultando em longos e variáveis tempos de projeto e desenvolvimento. Segue abaixo um esquema do fluxo básico de fabricação de um produto da empresa E1, desde a solicitação do cliente até a entrega:

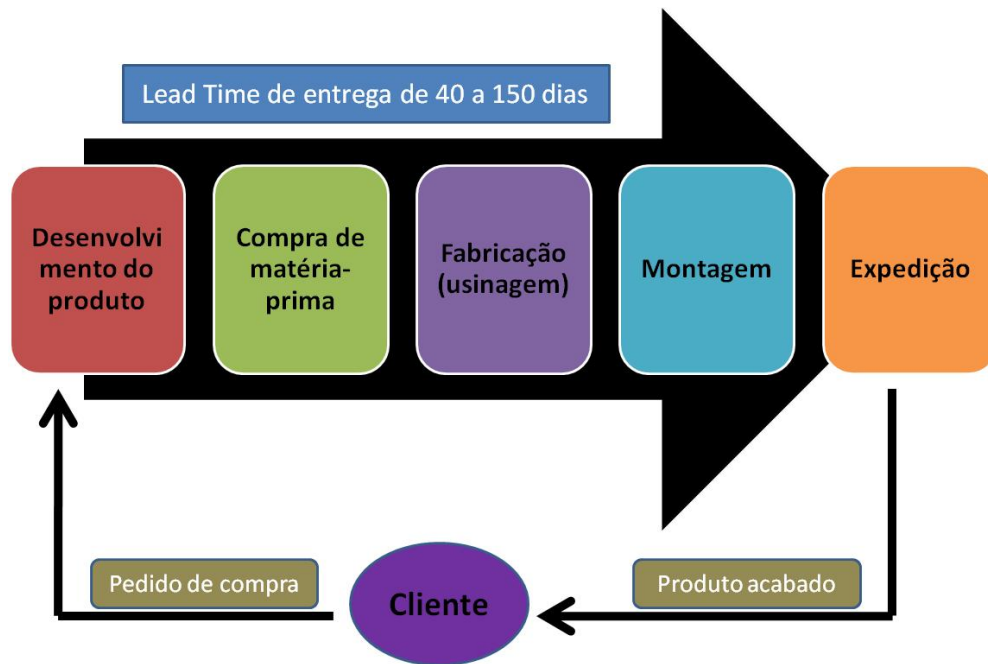


Figura 20 - Fluxo de valor macro da empresa E1

6.2 Definição do fluxo de aplicação do método

A escolha do fluxo ou dos processos da empresa E1 que receberiam a aplicação do método da Corrente Crítica foi baseada em três principais fontes de informação:

- Análise dos processos com maior índice de atraso
- Análise dos processos com maior índice de retenção dos pedidos (processos gargalos)
- Pesquisas na literatura sobre a produção ETO

As duas primeiras análises foram feitas a partir de uma implementação de um sistema de controle de prazos de todos os pedidos de bombas e peças sobressalentes da empresa. Esta implementação foi realizada através de um evento Kaizen (descrito no tópico 4.1.4.4.) que mobilizou uma equipe de 5 pessoas a instalar e preencher dois quadros de programação para uma gestão visual do gerenciamento de todos os pedidos em andamento.

Os dois quadros de programação (um para bombas e outro para peças sobressalentes) mostram as principais macro-atividades pelas quais todos os produtos passam ao longo do fluxo de valor interno da empresa. Cada uma destas macro-atividades tem no quadro um prazo limite para a sua finalização. Estes prazos

são baseados na data de entrega prometida ao cliente e nas próprias durações padrão de cada atividade. Conforme uma atividade atrasa, todas as atividades seguintes dependentes dela têm seus prazos de finalização reprogramados de acordo com o seu *Lead Time* padrão. As reprogramações foram projetadas para evitar que os processos sejam culpados por um atraso originado nas atividades anteriores. No entanto, o quadro sempre mostra que a data original de entrega do produto deve ser respeitada. As atividades do quadro recebem uma tarjeta magnética colorida de acordo com o seu *status*. Se o processo foi iniciado, mas ainda não finalizado, uma tarjeta amarela é colocada no quadro. Se a atividade foi finalizada dentro do prazo reprogramado ela recebe uma tarjeta verde senão, recebe uma tarjeta vermelha indicando o atraso.



Figura 21 - Quadros de programação macro da empresa E1. Destaque para os principais atrasos das atividades

A figura 21 acima mostra os quadros de programação uma semana depois da implementação. É evidente a grande concentração de tarjetas vermelhas nas primeiras atividades do fluxo, em ambos os quadros. Isto indica que estas são as atividades que mais atrasam e, conseqüentemente, retêm uma grande quantidade de pedidos por muito tempo (atividades gargalo). Tais atividades, nomeadas nos quadros como “Desenvolvimento do Produto” e “Desenho de Listas de peças” são

atividades pertencentes ao fluxo do projeto e desenvolvimento dos produtos e realizadas nos departamentos de Engenharia e Técnico da empresa E1.

Além das conclusões tiradas acima, uma consulta à literatura mostra que os principais focos de melhoria nas indústrias ETO estão nos processos de Engenharia das organizações, como explicado no tópico 4.2.5. A ausência de padronização dos processos e de um portfólio de produtos pré-projetados faz com que a Engenharia demande uma alta carga de trabalho e tempo para desenvolver os projetos. Diante das afirmações acima, foi decidido que este setor da empresa E1 receberia a implementação do método da Corrente Crítica juntamente com as ferramentas da Produção Enxuta para um melhor controle e gerenciamento dos projetos e dos recursos.

6.3 Etapas de aplicação do método da Corrente Crítica

6.3.1 Diagnóstico da situação encontrada

Antes da execução da primeira etapa do método, que consiste na montagem do diagrama de rede com todas as atividades do fluxo de desenvolvimento de produtos, foi necessário mapear todo o fluxo de informação dos processos envolvidos. A partir deste mapeamento, foi possível identificar todas as atividades realizadas pela Engenharia e pelo departamento Técnico da empresa além de relacioná-las com todos os recursos envolvidos.

A primeira etapa a ser realizada antes de se iniciar o mapeamento é divisão dos produtos em famílias. Conforme explicado no tópico 4.1.4.3 da Revisão Bibliográfica deste trabalho, cada mapa de fluxo de valor ou de informação deve corresponder a uma família de produtos. Uma família contém produtos que passam pelos mesmos processos e trilham um caminho semelhante no fluxo. Foram criadas sete famílias de produtos de acordo com as atividades realizadas no desenvolvimento de produtos da empresa E1. Segue abaixo o nome das famílias criadas e os critérios utilizados para a divisão dos produtos:

1) Projeto novo (não existe modelo):

Pertencem a esta família todas as bombas novas cujo projeto de desenvolvimento nunca foi feito pela Engenharia e também cujos modelos ainda não existem. Os modelos são peças confeccionadas em madeira que servem como moldes para a fundição de certos componentes da Bomba. Nestes casos em que eles ainda não existem, é necessário dimensioná-los e confeccioná-los.

2) Projeto novo (já existe modelo):

Nesta família se encontram também todas as bombas nunca antes projetadas pela Engenharia, porém seus modelos já foram produzidos.

3) Petrobrás:

As bombas fabricadas para a Petrobrás, um dos principais clientes da empresa E1, são equipamentos diferenciados e com uma maior complexidade que as demais bombas fabricadas.

4) Bombas com similaridade:

Esta família engloba as bombas que já foram projetadas pelo menos uma vez pela Engenharia ou que possuem grande semelhança com equipamentos já desenvolvidos anteriormente.

5) Manutenção com similaridade:

As bombas de clientes que necessitarão de manutenção e cujo projeto técnico já é conhecido pelo departamento Técnico da empresa, se encontram nesta família.

6) Manutenção sem similaridade:

Esta família contém todas as bombas de manutenção cujo projeto técnico é desconhecido. Trata-se de manutenções novas.

7) Peças com necessidade de desenho:

As peças sobressalentes cujos desenhos ainda não foram feitos pelo departamento Técnico se encontram nesta família.

O desenvolvimento do estudo de caso realizado será demonstrado com a aplicação do método e das ferramentas da Produção Enxuta em apenas uma das famílias descritas acima – Projeto novo (não existe modelo), devido ao fato de que o

A análise dos problemas encontrados motivou a elaboração de um sistema de planejamento e controle dos processos e dos recursos da Engenharia. A implementação deste sistema foi realizada através da aplicação do método da Corrente Crítica com as adaptações específicas necessárias. O passo a passo da aplicação é mostrado a seguir.

6.3.2 Passos para a aplicação do método na empresa E1

1º Passo: Criar a rede

O mapeamento do fluxo de informação, mostrado na figura 22, identificou todas as atividades realizadas pela Engenharia no desenvolvimento de projetos que se enquadram na família “Projeto novo (não existe modelo)”. A tabela a seguir agrupa e lista estas atividades em 11 atividades principais e informa todas as suas durações de acordo com a opinião do responsável pelo departamento de Engenharia. É importante ressaltar que as durações das atividades consideram o tempo entre começá-la e terminá-la, sem que aconteçam interrupções ou espera na fila de outros projetos. Trata-se do Tempo de Ciclo das atividades sugerido pelas pessoas que estão habituadas a realizá-las. A tabela divide os tempos de duração das atividades em três níveis (C1, C2 e C3). Estes níveis estão relacionados à complexidade dos projetos dos equipamentos e correspondem a uma subdivisão da família.

Tabela 1 - Durações (dias) das atividades do fluxo de desenvolvimento de projetos da família “Projeto novo (não existe modelo)”

Duração das atividades (dias)				
		Nível de complexidade		
Atividade	Nome da atividade	C1	C2	C3
A	Projetar Pré Bomba (CAD)	6	8	12
B	Desenhar o fundido	4	6	10
C	Projetar final Bomba (CAD)	8	12	18
D	Fazer a Documentação do Cliente	6	8	12
E	Fazer a Lista de Peças Final	2	2	4
F	Desenho de usinagem (mancal)	4	4	6
G	Desenho de usinagem (tampa)	2	2	2
H	Desenho de usinagem (conj Gir)	4	6	8
I	Desenho de usinagem (carcaça)	2	4	8
J	Desenho de usinagem (demais)	2	4	6
K	Desenho de usinagem (base)	4	4	4

Com base nos tempos de execução de cada atividade, foi elaborado o diagrama de rede que mostra as inter-relações das atividades no fluxo. A demonstração do diagrama de rede assim como a continuação da aplicação do método serão realizadas baseadas nas durações de projetos de complexidade C1.

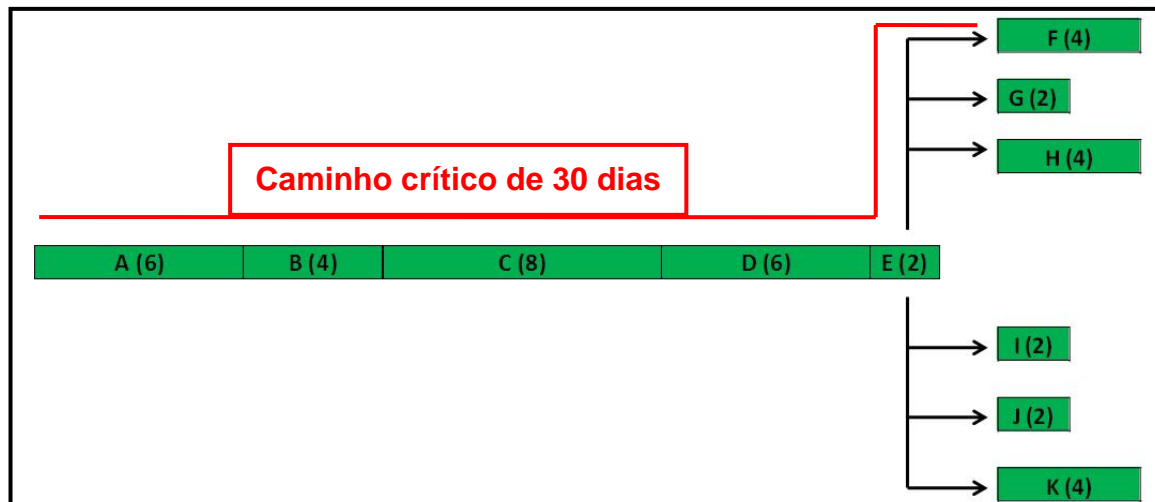


Figura 23 - Diagrama de rede com as estimativas de durações (dias) das atividades da família “Projeto novo (não existe modelo)”

O diagrama de rede acima mostra que as primeiras cinco atividades do fluxo são realizadas em série, ou seja, uma após a outra. As outras seis atividades são realizadas em paralelo e, portanto, dependem apenas da conclusão da atividade E. Os números entre parênteses indicam as durações das atividades em dias. Os caminhos críticos do diagrama (A-B-C-D-E-F/H/K) mostram que o projeto tem cerca de 30 dias de duração. A figura destaca um dos caminhos críticos (A-B-C-D-E-F).

Nota-se que todas as atividades recebem a mesma cor no diagrama indicando que qualquer um dos recursos disponíveis pode executá-las. Não existe nenhuma restrição que determine qual recurso deve executar determinada atividade, a não ser que o recurso já esteja ocupado. Os recursos considerados para a aplicação do método são os cinco desenhistas do Departamento de Engenharia da empresa E1.

2º Passo: Usar os tempos médios de duração por atividade

Segundo o método da Corrente Crítica, deve-se retirar 50% dos tempos de execução de todas as atividades do fluxo nesta segunda etapa. Isto aproxima os

tempos das durações médias das atividades, eliminando os pulmões que o chefe do departamento de Engenharia provavelmente incluiu em cada atividade. Desta forma, o diagrama passa a ter metade da duração anterior, como mostra a figura 24.

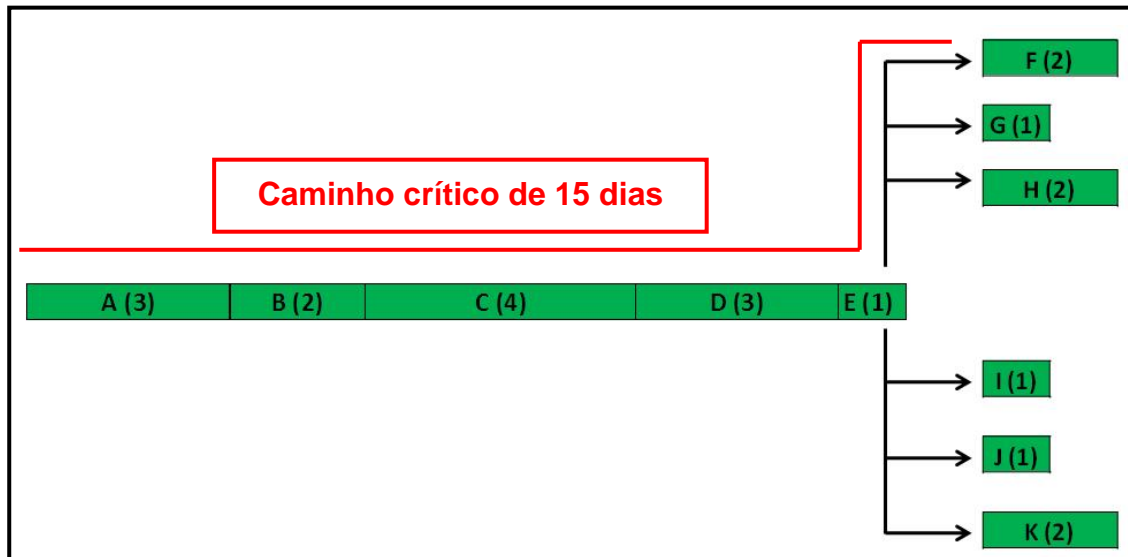


Figura 24 - Diagrama de rede com base nos tempos médios de duração das atividades da família “Projeto novo (não existe modelo)”

Um dos caminhos críticos do projeto, mostrado na figura 24, informa que o projeto passa a ter duração de 15 dias.

3º Passo: Eliminar a contenção de recursos e identificar a corrente crítica

Conforme já mencionado anteriormente, todos os recursos disponíveis podem executar qualquer uma das atividades dos projetos. O diagrama de rede elaborado considera que não há problemas relacionados à contenção de recursos e que os colaboradores do departamento de Engenharia (desenhistas) já estão bem distribuídos e a carga de trabalho está nivelada.

Para que uma distribuição balanceada e nivelada dos recursos pudesse ser realizada, foi implementado um sistema de gestão visual para o planejamento e controle da alocação de cada recurso. Trata-se de um quadro de programação dos recursos disponíveis e de apontamento das atividades realizadas. Desta forma, o chefe da Engenharia pode planejar antecipadamente como ocupará cada recurso nas atividades pendentes e evitar que alguns recursos fiquem ociosos enquanto

outros podem ficar sobrecarregados. O preenchimento do quadro é descrito a seguir.

Quadro de Programação e Apointamento de Atividades											
DATA:		ATUAL					SEGUINTE				
		SEG	TER	QUA	QUI	SEX	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
Desenhista 1	Programado	PI: 5397					PI: 7643			PI: 8733	
	Realizado	PI: 5397									
Desenhista 2	Programado										
	Realizado										
Desenhista 3	Programado										
	Realizado										
Desenhista 4	Programado										
	Realizado										
Desenhista 5	Programado										
	Realizado										

Figura 25 - Quadro de programação e apontamento das atividades

Como pode ser observado na figura 25, cada colaborador do departamento tem seu espaço reservado no quadro. O responsável pelo quadro (chefe do departamento de Engenharia) programa cada recurso (desenhista) em um horizonte de 15 dias. Com um traço em caneta azul ele informa no campo “Programado” do quadro em quais pedidos cada colaborador deve trabalhar ao longo dos dias, de acordo com a duração média de cada atividade. O colaborador, por sua vez, aponta no campo “Realizado”, com uma caneta vermelha, quando começou e quanto durou cada atividade programada, desenhando também um traço.

Através da programação e do apontamento das atividades torna-se possível uma gestão antecipada e ao mesmo tempo instantânea dos recursos. O quadro implementado mostra a distribuição das atividades pelos recursos em até 15 dias e também informa em qual atividade cada recurso está trabalhando no momento.

Caso uma atividade dure mais do que o programado (sua duração padrão ou média), ou seja, interrompida por qualquer motivo, uma ocorrência deve ser

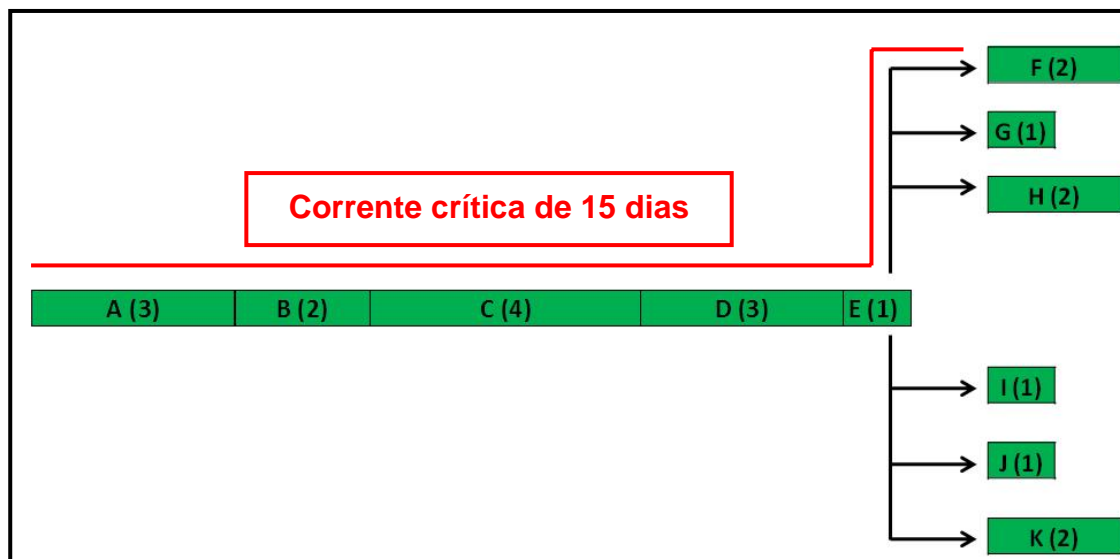


Figura 27 - Identificação da corrente crítica do projeto

4º Passo: Proteger a corrente crítica

A proteção da corrente crítica é feita com a inserção do pulmão no final do projeto. O pulmão foi calculado com base em duas parcelas:

- Pulmão de fila = 40% do tempo retirado das estimativas de duração das atividades pertencentes à corrente crítica
- Pulmão de projeto = 75% do tempo retirado das estimativas de duração das atividades pertencentes à corrente crítica

A somatória destas duas parcelas constituirá a segurança do projeto contra os atrasos e contra os tempos de fila que podem afetá-lo. O cálculo do pulmão é mostrado na tabela 2.

Tabela 2 - Cálculo do pulmão de proteção da corrente crítica

Pulmão da Corrente Crítica (dias)				
Atividade	Complexidade C2			
	Tempo retirado das estimativas	Pulmão de fila (40%)	Pulmão de Projeto (75%)	Pulmão final
A	3	1,2	2,25	3,45
B	2	0,8	1,5	2,3
C	4	1,6	3	4,6
D	3	1,2	2,25	3,45
E	1	0,4	0,75	1,15
F	2	0,8	1,5	2,3
Total	15	6	11,25	18

O novo diagrama de rede, com a corrente crítica protegida pelo pulmão de 18 dias, pode ser visualizado na figura 28.

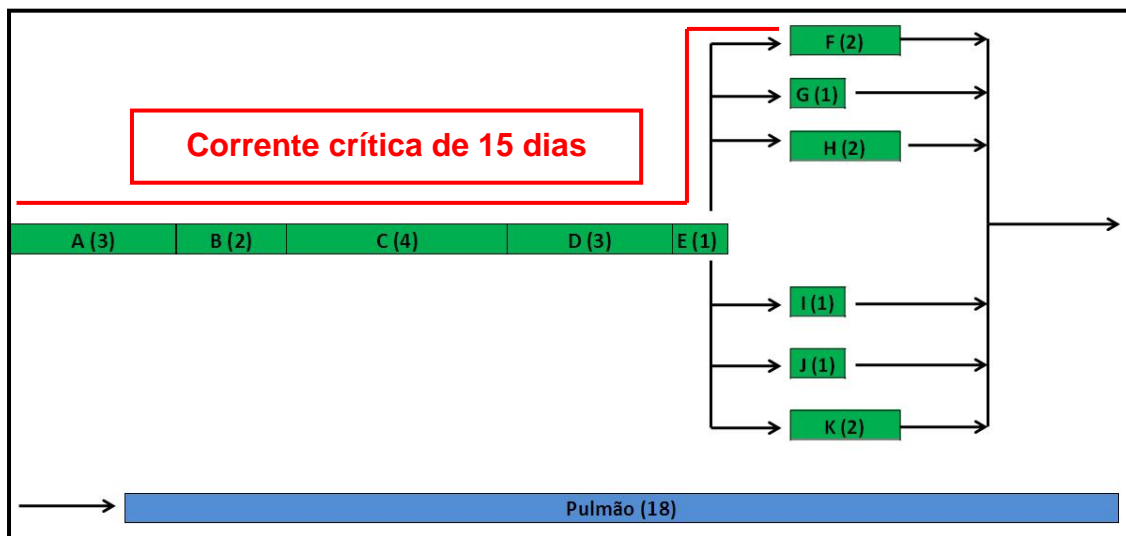


Figura 28 - Inserção do pulmão para proteger a corrente crítica

Observa-se que o projeto passa a ter um prazo máximo de 33 dias, sendo que 15 dias são da corrente crítica e 18 dias são do pulmão inserido.

5º Passo: Gerenciar os pulmões do projeto

Conforme as atividades do projeto vão sendo finalizadas com atraso ou com adiantamento, o pulmão tem seu tamanho alterado. A quantidade instantânea de dias do pulmão pode ser calculada como sendo a diferença entre o tempo disponível restante para cumprir todas as tarefas até a data limite e a somatória das durações padrão (tempos de ciclo) das atividades não concluídas. A figura 29 mostra a expressão de cálculo:

A: Tempo restante até o prazo necessário

data alvo – data atual

B: Tempo Total de Atividades Pendentes

soma dos tempos de ciclo das atividades não concluídas

$$\text{Pulmão} = A - B$$

Figura 29 - Cálculo instantâneo do pulmão

A gerência dos pulmões dos projetos foi feita através da divisão de cada pulmão inicial em três partes iguais, identificadas por cores (verde, amarelo e vermelho). A partir de um quadro de acompanhamento dos pedidos ou projetos, o qual será detalhado no tópico 6.4, verificam-se claramente os níveis dos pulmões através das cores. Desta forma, tornou-se visual e prático o controle dos pulmões de cada projeto. A figura 30 exibe a divisão do pulmão (18 dias) para os projetos de desenvolvimento da família “Projeto novo (não existe modelo)”.

Bombas com projeto novo (não existe modelo)	
Nível do pulmão (dias)	Cor
≥ 12	Verde
≥ 6 e < 12	Amarelo
< 6	Vermelho

Figura 30 - Divisão do pulmão para a família “Projeto novo (não existe modelo)” com complexidade C1

Quando o pulmão atinge a cor amarela (entre 1 e 2 terços consumidos) um plano de ação é elaborado com o objetivo de recuperar o pulmão, retornando-o ao nível verde. Caso o pulmão chegue ao nível vermelho, o plano de ação elaborado deve ser colocado em prática rapidamente. Uma folha para o apontamento deste tipo de ocorrência também foi implementada no departamento de Engenharia, como mostra a figura 31.

Plano de ação para pulmões críticos					
<i>Departamento Engenharia</i>					
<i>Data de Elaboração</i>	<i>Quem elaborou?</i>	<i>PI</i>	<i>O que será feito caso chegue ao nível vermelho?</i>	<i>Data em que a PI chegou no nível vermelho</i>	<i>O que foi feito?</i>

Figura 31 - Plano de ação para Pulmões Críticos

6.4 Controle da implementação

A implementação dos quadros de acompanhamento dos pedidos e de gestão dos recursos no departamento de Engenharia tem como principal objetivo facilitar o gerenciamento dos projetos em desenvolvimento da empresa E1. A partir dos quadros, é possível visualizar o andamento de todos os pedidos internos, os atrasos mais críticos, os tempos restantes para a conclusão das tarefas, dentre outras informações relevantes ao controle dos projetos. Desta forma, procurou-se estabilizar a carga de trabalho neste departamento, distribuindo de maneira uniforme as tarefas entre os recursos e dando preferência às prioridades mais urgentes.

Todo o trabalho da implementação, como a instalação dos quadros e das folhas de apontamento de ocorrências no departamento de Engenharia, foi realizado nos moldes de um evento Kaizen. Este evento durou uma semana e envolveu pessoas de diversas áreas da empresa tais como a Engenharia, o departamento Técnico, o departamento de Planejamento e Controle da Produção e a fábrica.

O quadro exibido na figura 32 corresponde ao acompanhamento de todos os projetos pertencentes à família “Projeto novo (não existe modelo)”.

BOMBAS COM PROJETO NOVO (NÃO EXISTE MODELO)																						
		LISTA DE FUNDIDOS							LISTA FINAL + DESENHOS DE USINAGEM													
PI	Complex.	Data lead time	Data original	Análise de Info + Projeto Rev Bomba	Desenho do fundido + Lista de Fundido	Soma das Atividades não concluídas	Tempo Remanescente LT	Tempo Remanescente Preço Original	Data lead time	Data original	Projetar final Bombas (CAD)	Documentação do Cliente	Lista de Peças Final	Desenho de usinagem (manca)	Desenho de usinagem (tampa)	Desenho de usinagem (conj Gir)	Desenho de usinagem (carcaça)	Desenho de usinagem (demais)	Desenho de usinagem (base)	Soma das Atividades não concluídas	Tempo Remanescente LT	Tempo Remanescente Preço Original

Figura 32 - Quadro de acompanhamento dos projetos da família “Projeto novo (não existe modelo)”

Observa-se que o quadro divide todas as atividades em duas macro-atividades (Lista de Fundidos e Lista Final + Desenhos de Usinagem). As onze micro-atividades, as quais foram usadas nos diagramas de rede, podem ser visualizadas nas colunas não coloridas do quadro. As colunas coloridas correspondem às informações de cada projeto necessárias para o gerenciamento. A seguir cada campo do quadro é devidamente explicado e detalhado:

PI: é o número do pedido interno do projeto usado pela empresa.

Complexidade: nível de complexidade do projeto. Há três níveis de complexidade e um tempo padrão diferente para cada uma das atividades destes níveis.

Data lead time: prazo limite para a finalização de todas as atividades do projeto, baseado no *lead time* padrão da PI. É reprogramada caso as atividades anteriores ao desenvolvimento de produtos atrasem.

Data original: prazo limite para a finalização de todas as atividades, baseado na data original de entrega da PI (acordada com o cliente). Não sofre a influência de reprogramações.

Micro-atividades: atividades que compõem as macro-atividades. Este campo é preenchido com dois números, os quais são descritos a seguir:

- Tempo padrão de ciclo da atividade
- Diferença entre tempo real gasto com a atividade e o seu tempo padrão de ciclo. Caso o tempo gasto tenha sido maior que o padrão, o número é representado em vermelho (atraso). Caso ocorra o contrário, é representado em verde (adiantamento)

Soma das atividades não concluídas: soma total do tempo padrão de ciclo de todas as atividades que ainda não foram finalizadas. Ou seja, é a carga de trabalho (em dias) necessária para finalizar a macro-atividade daquele projeto.

Tempo Remanescente LT: Data *lead time* – Data do dia. É o tempo restante (em dias úteis) até expirar o prazo que foi reprogramado para uma determinada macro-atividade.

Tempo Remanescente prazo original: Data original – Data do dia. É o tempo restante (em dias úteis) até expirar o prazo original programado para uma determinada macro-atividade.

A cor destes dois últimos campos é determinada pelo nível em que se encontram os seus respectivos pulmões. O conceito de pulmão e os níveis para cada cor encontram-se detalhados no tópico 6.3.2 (5º passo do método).

O quadro é atualizado da seguinte maneira:

Tempos remanescentes: devem ser atualizados todos os dias para todas as PI's que estiverem em aberto no quadro, de acordo com planilha de cálculo de auxílio (valor e cor corretos).

Micro-atividades: assim que uma atividade em andamento for concluída, o responsável pela execução da atividade deverá apontar neste campo a diferença entre o tempo real gasto com a atividade e o seu tempo padrão de ciclo. Caso seja o tempo gasto tenha sido maior que o padrão, o número será representado em vermelho (atraso). Caso ocorra o contrário, será representado em verde (adiantamento).

Soma das atividades não concluídas: assim que uma micro-atividade for atualizada como concluída, o responsável pela atividade deverá atualizar também este campo. A atualização faz-se pela subtração do tempo padrão da atividade concluída do valor atual do campo.

Toda a atualização do quadro é feita com o auxílio de uma planilha eletrônica que realiza todos os cálculos necessários. Assim, o responsável pelo quadro tem apenas a tarefa de transferir os valores da planilha para o quadro físico.

6.5 Análise Crítica dos resultados

6.5.1 Problemas e dificuldades encontrados

A aplicação do método da Corrente Crítica nos projetos de desenvolvimento de produtos da empresa E1 encontrou algumas dificuldades decorrentes do tipo de cultura e das características da produção do ambiente encontrado.

Por se tratar de uma produção essencialmente ETO (*Engineer to Order*), a falta de padronização dos processos realizados na Engenharia da empresa gera grandes dificuldades quanto à identificação e ao dimensionamento das atividades dos projetos. Durante a fase de mapeamento do fluxo de informação do desenvolvimento de produtos, foi notado que existem muitos processos e atividades que nem sempre são realizados e, quando são, não é de uma forma padronizada, ou seja, uma mesma atividade é realizada de maneiras diferentes de acordo com o projeto sendo desenvolvido. Isto se deve ao fato de que a variedade de produtos desenvolvidos é muito grande e que cada projeto novo que entra no departamento de Engenharia começa sempre na mesma atividade inicial. Conseqüentemente, os

tempos de ciclo das atividades podem apresentar uma variação muito grande de acordo com a complexidade de cada projeto. A solução para amenizar as variabilidades citadas acima foi a divisão dos produtos desenvolvidos em famílias, com três níveis de complexidade cada uma. Desta forma, agruparam-se os projetos mais semelhantes em famílias de produtos, o que possibilitou a realização de um estudo mais fidedigno.

Outro problema encontrado durante a aplicação do método diz respeito à obtenção de datas para controlar os prazos e os pulmões de cada projeto. A cultura de trabalho da empresa E1 não era habituada a planejar e gerenciar as atividades do fluxo de valor através de prazos limites individuais que devem ser respeitados. A única forma de controle dos projetos realizada era através da data final de entrega do produto. A aplicação do método da Corrente Crítica no desenvolvimento de produtos (Engenharia) exige que uma data limite para os processos deste fluxo seja calculada a fim de controlar os pulmões e garantir o término da fase de desenvolvimento conforme planejado. Para isso, a data final de entrega do produto teve que ser “explodida” em datas de entregas parciais. Cada macro-atividade do fluxo recebeu um prazo limite de término de acordo com o seu *lead time* padrão. Assim, o gerenciamento dos processos tornou-se mais eficaz, pois ele foi quebrado em pequenas partes mais fáceis de se controlar.

6.5.2 Resultados e discussões

Os resultados da aplicação do método de gerenciamento pela Corrente Crítica no desenvolvimento dos projetos da empresa E1 não puderam ser detectados em curto prazo. Conforme explicado anteriormente, os *lead times* dos projetos são da ordem de meses e qualquer ação aplicada sobre os processos da organização será refletida em resultados nesta mesma quantidade de tempo.

Três meses após a implementação desta nova sistemática, uma interessante análise foi realizada para mostrar as melhorias no fluxo de desenvolvimento de produtos. Esta análise é baseada na distribuição do valor monetário em carteira (produtos ainda não faturados) pelos diversos setores e departamentos da empresa. Trata-se de uma métrica que mostra, momentaneamente, como o valor financeiro dos produtos em processo estão distribuídos pelas diversas etapas pelas quais ele

atravessa antes ser faturado. Em outras palavras, é uma “foto” que mostra como o dinheiro em carteira está espalhado pelos departamentos.

Os gráficos 2a, 2b e 2c representam esta análise em três momentos diferentes. O primeiro gráfico (a) corresponde à situação em que se encontrava a distribuição de todos os pedidos em carteira antes da implementação. O segundo (b) e o terceiro (c) gráficos mostram a mesma análise dois e três meses após a implementação, respectivamente.

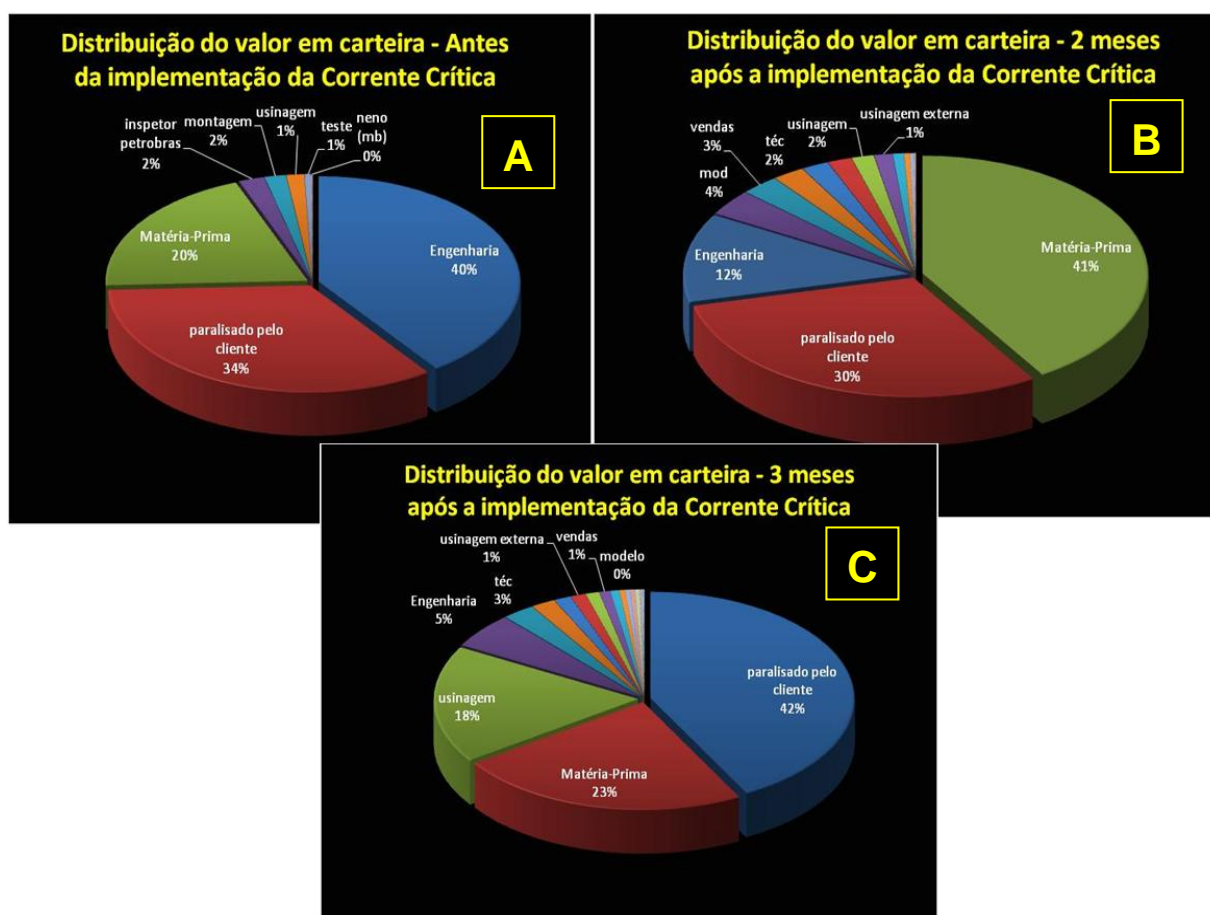


Gráfico 2 - Distribuição do valor em carteira pelos setores da empresa E1 antes da implementação da Corrente Crítica (a), 2 meses depois da implementação (b) e 3 meses depois da implementação (c)

Conclui-se, a partir dos gráficos acima, que a quantidade de pedidos paralisados na Engenharia foi diminuindo ao longo dos meses. Em um primeiro momento, antes da implementação, cerca de 40% do valor em carteira estava no departamento de Engenharia, como mostra o gráfico 2 (a). Dois meses depois,

apenas 12% do valor em carteira se encontrava neste departamento (gráfico 2 (b)). Em um terceiro momento, três meses depois da implementação, este valor caiu para apenas 5% (gráfico 2 (c)).

A análise crítica desta evolução mostra como a Engenharia, anteriormente com a maior parcela de valor em carteira, passou a ter uma quantidade baixa de valor dos pedidos em desenvolvimento. Isto mostra uma melhora no fluxo dos processos, “desafogando” a Engenharia da alta carga de trabalho que possuía antes da aplicação do método.

Conforme a taxa de saída dos pedidos da Engenharia foi aumentando, a quantidade de valor em carteira aguardando a chegada de matéria-prima aumentou de 20% (antes da implementação) para 41% (dois meses depois). Este fato também prova que uma grande quantidade de pedidos saiu da Engenharia repentinamente e foi passada para o departamento de Compras. Neste momento, a quantidade de pedidos aguardando a entrega de matéria-prima pelo fornecedor aumentou bruscamente.

No terceiro momento analisado (gráfico 2 (c)), nota-se que a quantidade de valor em carteira aguardando a chegada de matéria-prima voltou a cair para cerca de 23%. Isto se deve ao fato de que as matérias-prima foram chegando e, conseqüentemente, sobrecarregando o próximo processo do fluxo: a usinagem. A parcela de valor em carteira da usinagem subiu de aproximadamente 1% para 18%.

Diante das conclusões acima, os gráficos mostraram que a carga de trabalho do departamento de Engenharia estava realmente elevada e desbalanceada antes da aplicação do método. À medida que o fluxo dos processos da Engenharia ficou estabilizado, os processos imediatamente posteriores foram desbalanceados recebendo toda a carga de pedidos atrasados. A tendência é que todos os processos da organização voltem a ter um fluxo mais constante, visto que a Engenharia passou a soltar os projetos mais rapidamente, com um fluxo mais balanceado.

7. CONCLUSÕES FINAIS

O estudo de caso realizado nesta monografia mostrou que existem muitas possibilidades de ganhos e melhorias na indústria ETO. Mesmo com as barreiras impostas pela falta de padronização dos processos, pelo elevado grau de customização de produtos não-repetitivos e pela ausência de um planejamento estratégico de produtos, existem métodos e ferramentas que podem ser adaptados a estes ambientes de produção para se conseguir altos níveis de qualidade e produtividade.

A percepção de algumas organizações de que o conceito da Produção Enxuta não é aplicável na produção ETO foi questionada neste trabalho. O *Lean Manufacturing* (Produção Enxuta) vai além de apenas tentar reduzir os estoques e implementar a lógica do sistema puxado na produção. Trata-se de uma filosofia de produção que visa à eliminação de desperdícios em todos os processos de negócio das empresas, buscando valorizar apenas o que realmente agrega valor ao produto. Seguindo esta lógica, o presente trabalho buscou mostrar como algumas ferramentas da Produção Enxuta podem colaborar para a promoção de melhorias significativas no fluxo de valor de uma empresa cuja produção se encaixa nas características do *Engineer to Order* (ETO).

Primeiramente, foi realizado um estudo da Produção ETO para que fosse encontrado o principal foco de oportunidades de melhoria deste tipo de produção. Este estudo incluiu uma análise da literatura e uma observação real do comportamento da produção de uma empresa essencialmente ETO. A maioria dos artigos publicados, das teses e dissertações de pós-graduação encontradas mostrou que o principal gargalo da Produção ETO consiste na etapa de projeto e desenvolvimento de produtos. Uma análise crítica da produção da empresa E1, classificada como ETO, também mostrou que os processos realizados pela Engenharia, que envolvem as atividades de desenvolvimento de projetos, eram os mais demorados e menos padronizados, gerando atrasos e desnivelamento da carga de trabalho no restante do fluxo de valor. A partir das conclusões acima, foi decidido que o trabalho seria realizado com o foco voltado para a fase de desenvolvimento de produtos da empresa.

A próxima etapa do trabalho consistiu em uma análise da situação inicial encontrada na metodologia de trabalho da Engenharia da empresa E1. A divisão dos produtos em famílias e o mapeamento do fluxo de informação foram algumas das ferramentas da Produção Enxuta utilizadas para o diagnóstico da situação. O mapa auxiliou na identificação das atividades de cada família, mostrou como os recursos e os processos se relacionam e detectou os principais problemas a serem atacados.

Depois de compreendida a situação encontrada, foi realizada a aplicação do método da Corrente Crítica, proposto por Eliyahu M. Goldratt em 1997, para o gerenciamento dos projetos da Engenharia. A aplicação do método proporcionou a identificação da corrente crítica do projeto e a criação de pulmões de proteção contra os prováveis atrasos a que todo projeto está submetido. Além disso, o método também propõe a eliminação da contenção de recursos e a gerência dos pulmões através de cores que sinalizam o quanto da segurança (pulmão) do projeto foi consumida.

Algumas adaptações ao método foram realizadas para uma aplicação específica no caso em questão. O acompanhamento dos projetos foi realizado através de quadros e não de diagramas de rede, como sugere o método. A gestão visual, prática defendida pela Produção Enxuta, se mostrou mais didática e dinâmica para o gerenciamento e controle de cada projeto em andamento na Engenharia. Com a utilização dos quadros, o acesso às informações é mais rápido e claro e a atualização das informações se torna mais fácil.

Além dos quadros de acompanhamento dos projetos, foi implementada juntamente com a aplicação do método uma sistemática de programação e apontamento dos recursos do departamento de Engenharia que possibilitou uma distribuição nivelada da carga de trabalho pelos recursos disponíveis.

Toda a implementação dos quadros e da nova sistemática de gerenciamento dos projetos pela Corrente Crítica foi realizada através de um evento Kaizen, cuja filosofia se enquadra nos conceitos defendidos pela Produção Enxuta.

Por fim, o método da Corrente Crítica se mostrou prático, de fácil aplicação e eficiente no gerenciamento de projetos. Conclui-se que o método aplicado, com as adaptações necessárias, trouxe vários benefícios ao fluxo de desenvolvimento de produtos da empresa E1, tais como um aumento da taxa de saída dos projetos na

Engenharia e um controle mais eficaz dos prazos dos projetos e da alocação dos recursos.

8. TRABALHOS FUTUROS

O estudo da Produção ETO feito neste trabalho detectou a necessidade de um Planejamento Estratégico de Produtos em organizações com tais características. Um grande avanço na padronização dos processos seria gerado caso as empresas ETO desenvolvessem uma plataforma de produtos sólida, a partir da qual derivassem todos os produtos vendidos. Trata-se do início da elaboração de um catálogo de produtos, no qual o cliente pode escolher o produto que atenda aos requisitos desejados. Assim, grandes ganhos de produtividade poderiam ser conseguidos, visto que os produtos não precisariam ser projetados desde o início. Os custos envolvidos e os *lead times* de entrega seriam menores, aumentando a satisfação dos clientes.

Um projeto de desenvolvimento do Planejamento Estratégico de Produtos em organizações ETO poderia trazer grandes resultados positivos para esta tipologia de produção, dando continuidade ao trabalho desenvolvido nesta monografia.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAUJO, C. A. C. (2004). *Desenvolvimento e aplicação de um método para implementação de sistemas de produção enxuta utilizando os processos de raciocínio da Teoria das Restrições e o mapeamento do fluxo de valor*. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos, 2004.

BERNARDI, G.; WALTER, C. *Especificação dos requisitos e proposta de um modelo de referência de um sistema de informação para produção "one-of-a-kind"*.

CORREA, H. L.; CORREA, C. A. (2004). *Administração de produção e operações*. São Paulo, Atlas.

CORRÊA, H. L.; GIANESI, I. G. N; CAON, M (2008). *Planejamento, Programação e Controle da Produção*. 5ª Edição, Editora Atlas.

ESPÍNDOLA, M. A. (1997). *Kaizen em Vendas*. Bacharelado em Análise de Sistemas. Universidade Estadual do Centro-Oeste, UNICENTRO.

FALCONI, V. C. (1992). *TQC - Controle da Qualidade Total (No Estilo Japonês)*. Editora da Fundação Cristiano Ottoni, Rio de Janeiro.

GOLDRATT, E.; COX, J. (1994). *A meta*. São Paulo: Editora Educator.

GOLDRATT, E. (1997). *Critical Chain*. Great Barrington: North River Press.

IMAI, M. (1990). *Kaizen: a estratégia para o sucesso competitivo*. Tradução Cecília Fagnani Lucca. 3ª ed. IMAM.

KRAJEWSKI, L. J.; RITZMAN, L. P. (1996). *Operations Management: Strategy and Analysis*. Addison. Wesley, 4ª edição.

Lean Enterprise Institute (2007). *Léxico Lean. Glossário ilustrado para praticantes do Pensamento Lean*.

Lean Institute Brasil Website. Disponível em <http://www.lean.org.br/o_que_e.aspx> e <http://www.lean.org.br/5_principos.aspx>.

MAXIPROD Informática Industrial Ltda Website. Artigos disponíveis em <<http://www.maxiprod.com.br/index.php?opcao=paginas&idPagina=138>> e <<http://www.maxiprod.com.br/?opcao=paginas&idPagina=181>>

OHNO, T. (1997). *O Sistema Toyota de Produção – Além da produção em larga escala*. Bookman.

PERIN, P. C. (2005). *Metodologia de padronização de uma célula de fabricação e de montagem, integrando ferramentas de produção enxuta*. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

PIRES, S. R. I. (2004). *Gestão da Cadeia de Suprimentos: conceitos, estratégias, práticas e casos – Supply chain management*. São Paulo: Atlas.

QUELHAS, O.; BARCAUI, A. B. *A teoria das Restrições aplicada à gerência de projetos: Uma introdução à Corrente Crítica*. Universidade Federal Fluminense – Niterói, RJ.

RIBEIRO, H. (2006). *A bíblia do 5S*. 2º ed. Salvador, Casa da Qualidade.

ROCHA, E. V. M.; SCAVARDA, L. F.; HAMACHER, S. (2005). *Considerações sobre a Produção sob Encomenda e Customização em Massa aplicadas à Indústria Automotiva*. XXV Encontro Nac. de Eng. de Produção – Porto Alegre, RS, Brasil.

ROTHER, M.; HARRIS, R. (2001). *Criando o fluxo Contínuo. Um Guia de Ação para Gerentes, Engenheiros e Associados da Produção*. São Paulo, SP. Lean Institute Brasil.

ROTHER, M.; SHOOK, J. (1999). *Aprendendo a Enxergar – Mapeando o fluxo de valor para agregar valor e eliminar o desperdício*. São Paulo, SP. Lean Institute Brasil.

SILVA, T. F. A. (2007). *Estudo sobre Sistema de Medição de Desempenho Baseado nas Ferramentas da Produção Enxuta*. Trabalho de Conclusão de Curso – Escola de Engenharia de São Carlos – USP, 2007.

STEFANELLI, P. (2007). *Utilização da Contabilidade dos Ganhos como Ferramenta para a Tomada de Decisão em um Ambiente com Aplicação dos Conceitos de Produção Enxuta*. Trabalho de Conclusão de Curso – Escola de Engenharia de São Carlos – USP, 2007.

WALTER, C.; RIES, O. (1996). *A Automação da Engenharia de Produto em um Ambiente ETO/OKP*. Máquinas e Metais. Agosto, 1996, pp.132-139.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T. (1996). *Lean thinking – banish waste and create wealth in your corporation*. New York, Simon & Schuster.

WORTMANN, J. C.; MUNTSLAG, D. R.; TIMMERMANS, P. J. M. (1997). *Customer-Driven Manufacturing*. Chapman & Hall, 1997.