

CENTRO UNIVERSITÁRIO NOVE DE JULHO – UNINOVE
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE MESTRADO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

SIMULAÇÃO COMO FERRAMENTA PARA APLICAÇÃO DO MFV

LUIZ CLAUDIO BEKESAS

SÃO PAULO

2012

LUIZ CLAUDIO BEKESAS

SIMULAÇÃO COMO FERRAMENTA PARA APLICAÇÃO DO MFV

Dissertação de Mestrado
apresentada ao Programa de
Mestrado em Engenharia de
Produção da Universidade Nove
de Julho, como parte dos
requisitos para a obtenção do
título de Mestre em Engenharia
de Produção.

Prof.Dr. Nivaldo Coppini, – Orientador, Uninove

SÃO PAULO

2012

SIMULAÇÃO COMO FERRAMENTA PARA APLICAÇÃO DO MFV

Por

LUIZ CLAUDIO BEKESAS

Dissertação de Mestrado apresentada
ao Programa de Mestrado em
Engenharia de Produção da
Universidade Nove de Julho, como
parte dos requisitos para a obtenção
do título de Mestre em Engenharia de
Produção

Presidente: Prof.Dr. Nivaldo Lemos Coppini- Orientador, Uninove

Membro: Prof Dr Maria Cristina Aranda Batocchio – FATEC-AM

Membro: Prof.Dr Milton Vieira Junior, Uninove

São Paulo, 28/02/2012

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Programa de Mestrado em Engenharia de Produção da Universidade Nove de Julho (UNINOVE) pelo apoio a este trabalho.

Agradeço especificamente ao meu orientador Professor Doutor Nivaldo Lemos Coppini e ao Professor Doutor Milton Vieira Junior, que atuou como co-orientador em minha dissertação. Seu tempo e orientação foi uma contribuição inestimável.

Gostaria, também, de agradecer ao Professor Doutor Wagner Cezar Lucato, por seus *insights* generosos, e ao amigo Ademario Francisco dos Santos, que serviu como o meu leitor da dissertação.

Além disso, agradeço a Corporação Belge, por fornecer uma versão livre estudante do Software ProModel® e Process simulator para esta pesquisa.

Reservo a minha maior gratidão a minha esposa Magda, por seu apoio incondicional em todos os sentidos, durante meus dois anos no programa de Mestrado.

A Aptidão

Numa humanidade tão altamente desenvolvida como é a atual, cada um, por natureza, recebe em dote acesso a muitos talentos. Cada qual tem talento inato, mas só a poucos é dado por nascença e por meio da educação o grau de tenacidade, persistência e energia, para que o indivíduo se torne, realmente, um talento, para que, portanto, venha a ser aquilo que é; ou seja, traduza isso em obras e ações.

(Friedrich Nietzsche)

RESUMO

Mapeamento do Fluxo de Valor (MFV) é uma ferramenta que tem sido utilizada na manufatura enxuta para redesenhar os sistemas de produção em diversos setores industriais. Como parte dos princípios *Lean*, o MFV é uma técnica usada para identificar diversos tipos de desperdícios existentes no chão de fábrica e permite uma maneira fácil de visualizar possíveis alternativas para eliminá-los.

A empresa considerada para a pesquisa é um tradicional fabricante de redutores industriais e autopeças, que vem usando o MFV para localizar e eliminar os desperdícios para uma família de produtos. Este trabalho propõe a utilização do software ProModel ® 7.0 como ferramenta de simulação para construir e avaliar várias alternativas para o mapa de fluxo de valor do estado futuro (MFVF).

Como resultado permite concluir que a simulação representa uma valiosa estratégia para obter uma solução otimizada do MFVF, pois permite a análise de muitos indicadores de produção e várias alternativas de fabricação.

Palavras-chave: Mapeamento de fluxo de valor, Manufatura enxuta, produção enxuta, Simulação

ABSTRACT

Value Stream Mapping (VSM) is a tool that has been used in lean manufacturing to redesign production systems in several industrial sectors. As part of lean principles, the VSM is a pictorial technique used to identify several kinds of wastes existing in the manufacturing floor and enables an easy way to visualize possible alternatives to eliminate them. The company considered for this research is a traditional manufacturer of industrial gearboxes and auto parts, who has been using the VSM to locate and eliminate wastes for a family of products. This paper proposes the utilization of ProModel® 7.0 software as a simulation tool to build-up and to evaluate several alternatives for the future state value stream map (FSVSM). As a result it is possible to conclude that simulation represents a valuable strategy to obtain an optimized solution for the FSVSM, as it allows the analysis of several alternatives for several manufacturing indicators.

Keywords - Value stream mapping; lean manufacturing; simulation.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	xi
LISTA DE QUADROS.....	xii
LISTA DE SÍMBOLOS	xiii
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Abordagem tradicional e abordagem integrada de simulação.....	3
1.2 Objetivos desta pesquisa	4
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	5
2.1 Produção enxuta (<i>Lean Production</i>).....	5
2.2 Fundamentos do <i>Lean</i>	12
2.3 Gerenciamento Visual	13
2.4 Manufatura Celular	14
2.5 Melhoria Contínua	15
2.6 <i>Just-In-Time</i>	16
2.6.1 Produção <i>Just-In-Time</i>.	17
2.6.2 Distribuição <i>Just-In-Time</i>.....	20
2.6.3 Compras <i>Just-In-Time</i>.	21
2.6.4 Suavização de Produção	21
2.6.5 Padronização do Trabalho	22
2.6.6 Manutenção Produtiva Total (TPM)	22
2.6.7 Outras Técnicas de Redução de Desperdícios.....	24
2.7 De <i>Lean Manufacturing</i> para <i>Lean Enterprise</i>	25
2.8 Visão geral de <i>Supply Chain Management</i>.....	27
2.8.1 Integração do Cliente.....	27
2.8.2 Integração do fornecedor	29
2.8.3 Integração do fabricante	31
2.8.4 Funcionalidade do ERP, capacidades e limitações	32

2.8.5	Funcionalidade MES, capacidades e limitações.....	33
2.9	Sistemas de Manufatura Discreta versus Contínua	34
2.9.1	Aplicação do <i>Lean</i> na Indústria Discreta	37
2.10	MFV: Uma ferramenta do <i>Lean Manufacturing</i>.	38
2.10.1	Etapas do MFV.	43
2.11	Recomendações para a implantação do mapeamento.....	44
2.12	Simulação	47
2.13	Simulação como parte do MFV	47
2.14	Usando o software de simulação ProModel®	51
2.14.1	Locais	52
2.14.2	Entidades ou Partes	53
2.14.3	Redes de caminho.....	53
2.14.4	Recursos	53
2.14.5	Processos	54
2.14.6	Chegadas (ou cronograma de produção).....	54
2.14.7	Turnos (ou horários de trabalho).....	54
3.	METODOLOGIA	54
3.1	Caracterização da pesquisa	57
4.	ESTUDO DE CASO DE IMPLANTAÇÃO DO MFV UTILIZANDO SIMULAÇÃO.	58
4.1	Descrição dos processos estudados para a família de produtos definida	60
4.2	Delineando o MFV.....	61
4.3	Detalhando o MFV	63
4.4	Levantamento do Mapa de Fluxo do Valor Atual.....	64
4.4.1	Simulação do MFVA	68
4.5	Simulação de Cenários para o (MFVF).....	74
4.6	Proposta de Mapeamento do Fluxo de Valor Futuro.....	80

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	82
6. CONCLUSÕES	84
7. REFERÊNCIAS	86

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Sistema de Produção Toyota utiliza os “4Ps” – Filosofia, Processo, Pessoal/Parceiros e Solução de Problemas	7
Figura 2 - Kanban de Retirada.	19
Figura 3 - Kanban de Produção	19
Figura 4 - Categorias do ambiente de produção.....	37
Figura 5 – Etapas iniciais do MFV	43
Figura 6 - Diferenças entre MFV e Simulação.....	49
Figura 7 –Seleção de elementos no software ProModel®.....	52
Figura 8 - Demanda de produtos e visão geral de fluxo de entrega.....	62
Figura 9 - Mapa de Fluxo de Valor da Cadeia de Suprimentos.....	62
Figura 10- Fluxo de processo em todas as linhas do produto.....	63
Figura 11- Simbolo de explosão Kaizen.....	66
Figura 12 - Mapa do fluxo de valor atual.....	68
Figura 13 - Mapa do fluxo de valor atual simulado.	69
Figura 14 - Resultados de análise do mapeamento de fluxo de valor atual	72
Figura 15 - Níveis de estoques intermediários.	74
Figura 16 - Banco de dados usado para entrada e saída.....	75
Figura 17- Simulação de Cenário 1 para MFVF.....	79
Figura 18 - Simulação do Cenário 2 do MFVF.....	79
Figura 19 - Resultados de simulação do MFV futuro.	79
Figura 20 - Mapa do fluxo de valor futuro.....	81

LISTA DE QUADROS.

Quadro 1: Aplicação das ferramentas Lean manufactory nos desperdícios da produção.....	8
Quadro 2: Lista dos princípios <i>lean</i>	13
Quadro 3: Visão Geral do Fornecimento Enxuto.....	30
Quadro 4 – 11 funcionalidade MES definido pela MESA	34
Quadro 5 Símbolos usados no mapeamento de fluxo de valor	40

LISTA DE SÍMBOLOS

- 3PL- Terceirizados de logística
4P - problemas, parceiros, processo e pensamento
5S-Seiton, Seiri, Seiso, Seiketsu e Shitsuke
ABNT-Asociação Brasileira de Normas Técnicas
ASME-American Society of Mechanical Engineers
CM-Centro de Usinagem
DES -Simulação de Eventos Discretos
EDI -intercâmbio eletrônico de dados
ERP -Enterprise Resource Planning
EUA-Estados Unidos da América
F-fundição
FIFO -First in First out
ISO-International Organization for Standardization
JIT- just-in-time
JITC- just-in-time de compra
JITD- just-in-time de distribuição
JITP-just-in-time de produção
LIFO-last in, first out
MES -Manufacturing Execution System
MESA -Manufacturing Execution Systems Association
MFV-Mapeamento de Fluxo de Valor
MFVA-Mapeamento de Fluxo de Valor Atual
MFVF-Mapeamento de Fluxo de Valor Futuro
M-Montagem
MP -Mapas de Processo
NBR-Norma Brasileira Regulamentadora
NUMMI-New United Motor Manufacturing, Inc
PC-personal computer
PCP-Planejamento e controle de produção
PM- Manutenção Preventiva
P-Pintura
QCO – Quick Change Over

SMED-Single-Minute Exchange of Die

TI-Tecnologia da Informação

TPM- Manutenção Produtiva Total

TPS-Toyota Production System

TQM-Total Quality Management

TR-Tempos de trocas

TT- Tempo Takt

TU-Tempo Utilizável

WIP-Work in process

1. INTRODUÇÃO

Uma organização depende de uma produção competitiva. Ser competitiva significa procurar continuamente oferecer qualidade de seus produtos aliada a prazos que representem as necessidades de seus clientes e custos que permitam praticar os preços menores possíveis.

Muitas empresas procuram redefinir e redesenhar seu sistema de produção para tornarem-se mais competitivas. A ferramenta tradicional de mapeamento do fluxo de valor (MFV), que consiste em um tipo especial de diagrama de fluxo, utiliza símbolos conhecidos como "a linguagem enxuta". Mapeamento de fluxo de valor é uma ferramenta que permite a análise das etapas que não agregam valor ao produto. Estas etapas, portanto, representam desperdícios que devem ser eliminados. Os clientes não querem, com razão, pagar por etapas que não agregam valor ao produto de seu interesse. Esta ferramenta tem sido amplamente utilizada para identificar e reformular os sistemas de produção (FERRO, 2008; JONES e WOMACK, 2004).

Simular é projetar um modelo de um sistema real e conduzir experimentos com este modelo com o objetivo tanto de compreender o comportamento do sistema quanto de avaliar várias estratégias para a operação deste sistema.

Simulação e mapeamento de fluxo de valor são ferramentas que podem auxiliar as tomadas de decisão sobre as mudanças em um ambiente de produção. Cada membro de uma equipe de implantação observa os detalhes de um MFV para determinar as áreas onde as melhorias podem ser introduzidas. Em seguida, conjuntamente eles podem determinar as questões de comportamento do sistema de produção e mostrar onde as melhorias devem ser introduzidas (ANAND e KODALI, 2009).

Fatores como tempo de fluxo de material, estoque, pessoal, prazos de entrega e informações de fluxo afetam uns aos outros durante a produção. Os efeitos que esses fatores geram uns sobre os outros são difíceis de definir sem a análise ao longo do fluxo de valor. O MFV foi concebido para analisar esses fatores. No entanto, o MFV tem limitações por ser uma imagem estática do fluxo de valor e não mostra os aspectos comportamentais sobre o sistema, por este motivo o conceito de simulação é usado (SOLDING e GULLANDER, 2009).

A fim de gerar um modelo simulado de um processo, a fabricação tem de ser decomposta nas suas partes complexas. Isto inclui o fluxo da matéria prima, desde o estoque até os processos de montagem dos componentes:

- quantidade e a frequência de abastecimento das matérias primas;
- o fluxo de peças e componentes e a frequência com que eles são enviados aos processos posteriores;
- o *setup* e os tempos das máquinas envolvidas na fabricação dos produtos;
- a área de armazenagem necessária para matérias primas, peças, componentes e produtos acabados.

O processo de aquisição de todas as informações necessárias é trabalhoso. Entretanto, deve-se procurar informações que melhor retratem a realidade de todo o fluxo da produção.

Assim, o procedimento consiste em construir o Mapa do Fluxo de Valor Atual (MFVA). Este é o ponto de partida que deve refletir a realidade do sistema de produção em análise. Com base no MFVA é construído o Mapa do Fluxo de Valor Futuro (MFVF). Este deve projetar o novo fluxo de produção minimizando e eliminando os vários desperdícios com a introdução de melhorias. Este procedimento, na maioria das vezes, é de conhecimento geral e tem sido praticado de forma empírica, com a observação e registro das características das atividades ou eventos que poderiam ser analisados e modificados para aumentar a eficiência da produção.

Tal procedimento pode acarretar a construção de vários MFVF's. Cada novo MFVF construído é fruto de alguma modificação do MFVA ou de MFVF's anteriores até que se tenha uma versão que possa ser considerada satisfatória.

O passo inicial nesta pesquisa é o de sistematicamente estudar o conceito *Lean*¹ e mais especificamente a ferramenta MFV, acompanhado de uma revisão da literatura na indústria de processo.

O próximo passo é desenvolver um estudo de caso em uma indústria que utiliza o processo contínuo, com respeito aos seus produtos, processos e características do equilíbrio relativo às operações discretas e contínuas. Este estudo de caso é usado para contrastar e caracterizar a indústria de processo em grupos distintos. Em seguida, ele é usado para examinar e identificar as ferramentas específicas da manufatura enxuta e as técnicas que poderiam ser aplicáveis para o redesenho do sistema de produção e cortes de desperdícios, para estudar e ilustrar o efeito das ferramentas da manufatura enxuta no setor de processo da indústria metalúrgica.

¹ Manufatura enxuta, empresa enxuta, ou produção enxuta, é uma prática de produção que considera o gasto de recursos para qualquer outro objetivo que não a criação de valor para o cliente final como sendo um desperdício, e, portanto, um alvo para a eliminação.

Primeiramente, o mapeamento do fluxo de valor é usado para mapear o estado atual para identificar fontes de desperdício e, em seguida, identificar ferramentas da manufatura enxuta para tentar reduzir essas perdas. O mapa do estado futuro é então desenvolvido para um sistema no qual são aplicadas as ferramentas da manufatura enxuta. Segundo, um modelo de simulação é desenvolvido para quantificar os benefícios adquiridos com o uso das técnicas no mapeamento do fluxo de valor. Para as ferramentas da manufatura enxuta que não podem ser quantificadas diretamente pela simulação, uma metodologia proposta para implementá-las é desenvolvida e uma avaliação subjetiva de seus benefícios é fornecida.

1.1 Abordagem tradicional e abordagem integrada de simulação

Este estudo mostra duas abordagens que podem ser usadas para criar a simulação de um sistema.

A abordagem tradicional utiliza informações de um MFVA para alimentar um programa de simulação. O MFVA contém a maioria das informações que um programa de simulação necessita e pode ser usado como uma fonte de dados para ele. Algumas das informações compartilhadas incluem tempo *takt*, tempo de *setup* de máquinas, número de operadores em um local. (LIAN e VAN LANDEGHEM, 2007).

A abordagem tradicional da simulação é realizada através da criação de um MFV no estado atual (MFVA) em papel, analisando possíveis melhorias, para criar um MFV futuro (MFVF) no papel e depois inserir as informações de ambos os MFV's em um programa de simulação para a comparação de possíveis melhorias. Dependendo da quantidade de detalhes que são necessários simular, a abordagem tradicional de simulação pode necessitar de muito tempo para sua criação (SOLDING e GULLANDER, 2009).

Um mapa de fluxo de valor exige que o seu analista pense estaticamente em termos de tempo, de quantos operadores estão em uma determinada localização, de que mudanças óbvias podem ser feitas, etc. Já a construção de um modelo de simulação força o analista a olhar para os detalhes de comportamento de um sistema. Por exemplo, que recursos são usados, onde são usados e qual tempo está associado a esses recursos. As diferenças entre a imagem estática e os problemas comportamentais podem causar dificuldades para o analista, que é forçado a pensar estaticamente e

comportamentalmente. Isso também pode causar uma desaceleração na criação tradicional do MFV e da simulação (ABDULMALEK e RAJGOPAL, 2007).

Por outro lado, a abordagem integrada de simulação é definida como a combinação entre MFV e simulação que, portanto, tenta eliminar o método empírico de aplicação, no qual novos resultados são reintroduzidos no software de simulação ProModel®. Usando as ferramentas disponíveis nesse software, uma simulação pode ser gerada a partir das informações de um mapa de fluxo de valor.

A abordagem integrada pode ser melhor que a tradicional, pois promove sinergia e força entre ambas as ferramentas, acrescentando a dimensão de tempo para o MFV, tornando fácil saber o estado do sistema sob circunstâncias diferentes, permitindo uma melhor decisão, com o objetivo de entender melhor a filosofia de produção enxuta e de usar a simulação como uma ferramenta auxiliar na implementação MFV.

1.2 Objetivos desta pesquisa

Este trabalho pretende alcançar, com seu desenvolvimento, o seguinte objetivo central: Mostrar que a simulação aliada ao MFV pode obter melhorias mais relevantes do que o mapeamento realizado na forma tradicional.

Para isso, se pretende:

- Aplicar os conceitos de MFV em uma empresa do setor metalomecânico, construindo primeiramente o MFVA para um produto ou família de produtos;
- Construir o MFVF utilizando o método tradicional;
- Construir MFVF utilizando os conceitos de simulação através do software ProModel® 7.0;

A hipótese de pesquisa é que o uso do MFV e da Simulação em uma base interativa (o MFV fornecendo dados para o Software e o Software para o MFV) melhorará todos os modelos, pois com este conjunto de ferramentas de gestão é possível definir, priorizar, executar e manter os projetos identificados por meio do mapeamento do fluxo de valor, possibilitando uma melhor alternativa na tomada de decisão do gestor.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Produção enxuta (*Lean Production*)

O novo movimento dos bens de produção e o setor de serviços criaram grandes desafios para a indústria mundial. O cliente exigente e o mercado altamente competitivo têm tornado o antiquado estilo gerencial uma ferramenta inadequada para lidar com esses desafios. Esses fatores apresentam um grande desafio para as empresas procurarem novas ferramentas que lhes permitam continuar crescendo num mercado global no qual a concorrência é crescente. Para superar esta situação e tornarem-se mais rentáveis, muitos fabricantes voltaram-se para os princípios *Lean* de produção para elevar o desempenho de suas empresas (BERGMILLER e MCWRIGHT, 2009).

A teoria que sustenta a construção do sistema de manufatura enxuta foi construída historicamente em uma empresa específica, a *Toyota Motor Company* (por isso é também conhecida como Sistema Toyota de Produção) através do esforço conjunto de seus profissionais, com a participação efetiva de duas pessoas importantes: Taiichi Ohno, na época vice-presidente da empresa, e Shigeo Shingo, que foi consultor de um amplo conjunto de empresas no Japão e no mundo ocidental, incluindo a Toyota (BROWNING e HEATH, 2009).

A produção enxuta surgiu no Japão logo após a Segunda Guerra Mundial. Devastado pela guerra, o Japão não possuía recursos para fazer os investimentos necessários para reerguer sua indústria seguindo os preceitos da produção em massa que caracterizava o sistema implantado pelas grandes indústrias americanas, como por exemplo, a General Motors e a Ford (BROWNING e HEATH, 2009).

A fim de fazer um movimento para a melhoria da indústria japonesa, líderes como Kiichiro Toyoda, Shigeo Shingo e Taiichi Ohno desenvolveram uma nova filosofia, orientada a processos do sistema, que é conhecida hoje como o "Sistema Toyota de Produção", ou "*Lean Manufacturing*". Foi dada a Taiichi Ohno a tarefa de desenvolver uma filosofia que aumentasse a produtividade na Toyota. Ohno baseou-se em algumas ideias do Ocidente, particularmente no livro de Henry Ford "Hoje e amanhã." A Ford possuía uma linha de montagem móvel com materiais fluindo continuamente, formando a base para o Sistema Toyota de Produção. Depois de algumas experiências, o Sistema Toyota de Produção foi desenvolvido e aperfeiçoadoo entre 1945 e 1970 e ainda está crescendo em 2007 por todo o mundo. A ideia básica

subjacente a este sistema é minimizar o consumo de recursos que não acrescentam valor a um produto (HOLWEG, 2007).

A fim de participar de um mercado altamente competitivo, fabricantes dos EUA vieram a perceber que o conceito tradicional de produção em massa teria que ser adaptado para as novas ideias usadas no conceito de *Lean Manufacturing* defendidas por Taiichi Ohno. Foi feito um estudo no Instituto Massachusetts de Tecnologia sobre o movimento de produção enxuta, como explicada no livro “A Máquina que Mudou o Mundo” (WOMACK, JONES e ROSS, 1990). O Estudo ressaltou o grande sucesso da Toyota na NUMMI² (New United Motor Manufacturing Inc.) e diminuiu o enorme fosso que existia entre os japoneses e as indústrias automotivas ocidentais. As ideias vieram a ser aprovadas nos EUA, porque as empresas japonesas desenvolveram-se produzindo e distribuindo produtos com menos esforço humano, menos investimento de capital, espaço, ferramentas, materiais, tempo e despesas em geral (WOMACK, JONES e ROSS, 1990).

Rother e Shook (1999), Nazareno, Rentes e Silva. (2009) e Liker (2005) afirmam que o *Lean* é uma filosofia composta por vários princípios e é muito difícil explicá-la em apenas uma frase.

A Filosofia do sistema de Toyota produção é baseada em 4 P's (*Problem solving, People and partners, Process and Philosophy*). Segundo Liker (2005) é necessário agregar valor ao produto na visão do cliente, da sociedade, comunidades e indivíduos. A Toyota acredita que produtos corretos são resultados de processos corretos. Um mapa de fluxo de valor é criado para representar o valor de cada fluxo. Atividades que não tem valor agregado são eliminadas para reduzir os obstáculos e os desperdícios.

Um dos princípios de produção Toyota é o desafio dos trabalhadores e parceiros para criar valor para a organização. As normas de produção incluem muitas ferramentas destinadas a forçar os problemas desafiando a iniciativa e criatividade dos funcionários. A Figura 1 mostra uma piramide com estes aspectos.

² New United Motor Manufacturing Inc., also known as NUMMI. Em 1984, a General Motors e a Toyota estabeleceram a NUMMI como uma *joint venture*. A Toyota mostrou à GM os segredos de seu sistema de produção: Como ela fez carros de qualidade muito maior e custo muito inferior ao alcançado pela GM (TOYOTA, 2011).

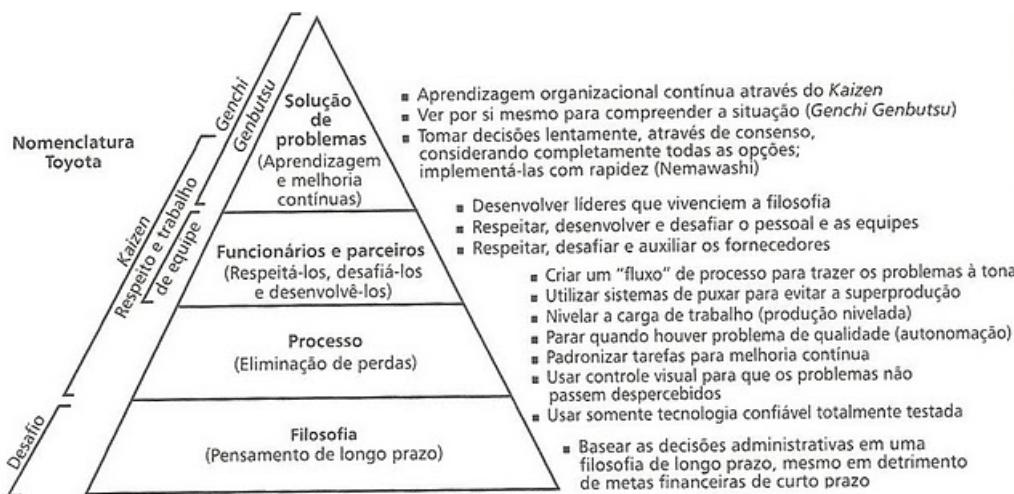


Figura 1 - Sistema de Produção Toyota utiliza os “4Ps” – Filosofia, Processo, Pessoal/Parceiros e Solução de Problemas . (Fonte: LIKER, 2005).

Trabalha o aspecto de produzir o máximo com o mínimo recurso, menos tempo, menos inventário, menor espaço, etc.

As ideias básicas por trás do sistema de manufatura enxuta, que têm sido praticadas por muitos anos no Japão, estão na eliminação de desperdícios, redução de custos e capacitação dos funcionários. A filosofia japonesa de fazer negócios é totalmente diferente da filosofia que tem prevalecido nos EUA. A crença tradicional no ocidente é que a única maneira de se fazer lucro é adicioná-lo ao custo de produção, a fim de chegar a um preço de venda desejado. Por outro lado, a abordagem japonesa acredita que os clientes são os geradores do preço de venda. Quanto mais qualidade se constrói sobre o produto e quanto mais serviço se oferece, maior o preço que os clientes estarão dispostos a pagar. A diferença entre o custo do produto e esse preço é o que determina o lucro (OHNO, 1988; DIAZ e ARDALAN, 2009; OLIVEIRA e PINTO, 2008).

Dentro da filosofia *Lean* existem ferramentas e conceitos como o *Just-In-Time* (JIT), 5S (*Jidoka, Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu, Shitsuke*), Célula de Manufatura, *Poka Yoke*, Manutenção Autônoma, *Kanban*, MFV entre outros (LIKER, 2005).

Womack (2008) discutiu os problemas mais comuns que envolvem a produção enxuta. Muitas organizações têm tido problemas de implementação dos princípios *Lean* devido a opiniões divergentes entre os especialistas. O problema real, de acordo com Womack (2008), é que uma vez que um princípio *Lean* é aplicado, raramente o MFV é reescrito com as medidas específicas que foram tomadas para implementar esse

princípio. Então, quando outro princípio precisa ser introduzido não existe um sistema padrão de operação. Womack e Jones (2005) sugeriram que uma organização deve fazer as seguintes perguntas, antes de implementar o *Lean*:

- Temos uma maneira padrão *Lean* para conduzir as operações da planta que todos entendam?
- Temos uma maneira padrão *Lean* para interagir com os nossos fornecedores em um nível operacional que todos entendam?
- Temos uma maneira padrão *Lean* para interagir com os nossos clientes em um nível operacional que todos entendam?

O Quadro 1 mostra a aplicação das ferramentas *Lean manufactory* nos desperdícios gerados nos processos de produção.

Quadro 1: Aplicação das ferramentas Lean manufactory nos desperdícios da produção.

Desperdícios		Ferramentas
1	Espera	<ul style="list-style-type: none"> • Mapeamento do fluxo de valor; • Manutenção produtiva total (TPM); • Melhoria na relação cliente-fornecedor/redução do número de fornecedores; • Trabalhar de acordo com o takt time/produção sincronizada; • Recebimento/fornecimento just in time.
2	Transporte	<ul style="list-style-type: none"> • Mapeamento do fluxo de valor; • Tecnologia de grupo; • Trabalho em fluxo contínuo (one piece flow)/redução tamanho de lote; • Manutenção produtiva total (TPM).
3	Movimentação desnecessária	<ul style="list-style-type: none"> • Mapeamento do fluxo de valor; • 5 S. • Trabalho em fluxo contínuo (one piece flow)/redução tamanho de lote.
4	Processos inadequados	<ul style="list-style-type: none"> • Mapeamento do fluxo de valor; • 5 S.
5	Inventário	<ul style="list-style-type: none"> • Mapeamento do fluxo de valor; • Trabalho em fluxo contínuo (one piece flow)/redução tamanho de lote.
6	Superprodução	<ul style="list-style-type: none"> • Mapeamento do fluxo de valor; • 5 S; • Trabalhar de acordo com o takt time/produção sincronizada.
7	Defeitos	<ul style="list-style-type: none"> • Mapeamento do fluxo de valor; • Ferramentas de controle da qualidade; • Zero defeito; • Ferramentas poka yoke.

Fonte: Rother e Jones (1999).

A Produção Enxuta, além do esforço para eliminação dos desperdícios, caracteriza-se pelo conceito de negócio no qual o objetivo é minimizar a quantidade de tempo e recursos utilizados nos processos de fabricação e em outras atividades de uma empresa. Na abordagem da produção enxuta as metas costumam ser estáticas para

determinado período de tempo mas depois podem ser alteradas, para aprimoramentos. Essas metas funcionam como padrões, com base nos quais é exercida a atividade de controle que procura minimizar os afastamentos que ocorrem em relação a estes padrões. O controle mantém o processo estável e os resultados dentro das tolerâncias aceitáveis

É por isso que produção enxuta promove o trabalho em equipe entre os funcionários multi-qualificados em todos os níveis, para efetivar a realização contínua de melhorias de processo em direção a meta zero (SHAH e WARD, 2007, BERGMAN et al., 2007):

- Zero movimento estoques,
- Paradas zero,
- *Lead Time Zero*
- Papel zero,
- Zero defeitos,
- Tempo de preparação zero (set up);
- Zero atrasos em toda a organização.

De acordo com Nogueira (2008), o modelo de Produção Enxuta possui várias metodologias e técnicas de produção e gestão industrial que são utilizadas atualmente pelas empresas. É basicamente a fusão de várias filosofias de gestão concebida para tornar as operações o mais eficientes possível. As filosofias envolvidas na manufatura segura os mesmos autores enxuta incluem:

- *Just-In-Time* (JIT);
- *Total Quality Management* (TQM);
- *Total Productive Maintenance* (TPM);
- Filosofia *Kaizen* de melhoria contínua.

A filosofia de melhoria contínua propaga a definição de um programa de melhoria racional, que é estruturado pelas empresas que busquem ser enxutas. Nesta conjuntura, fez-se necessária a criação de métodos para planejar, analisar e controlar o sistema de produção, principalmente focando o chão de fábrica, assim como suas relações com clientes e fornecedores externos (NOGUEIRA, 2008).

A disciplina *Lean* de fabricação implica em trabalhar todas as facetas do fluxo de valor, eliminando desperdícios para reduzir os custos, gerar capital, trazer mais vendas para que as empresas se mantenham competitivas em um concorrido mercado

global. O fluxo de valor é definido como “as atividades específicas dentro de uma cadeia de suprimentos necessária para a concepção dos produtos, a ordem é oferecer um produto com valor agregado” (HINES, FRANCIS e FOUND, 2006; KISBY, 2009).

Assim, o princípio da *Lean* é a redução de desperdícios através da melhoria contínua, gerando mais lucros (MARCHWINSKI e SHOOK., 2007).

A produção enxuta centra-se sobre a supressão ou redução de desperdícios (ou "muda", a palavra japonesa para desperdícios), utilizando atividades que agregam valor a partir da perspectiva do cliente. Do ponto de vista do cliente, o valor é equivalente a tudo pelo que ele está disposto a pagar num produto ou serviço. Assim, a eliminação de desperdícios é o princípio base da manufatura enxuta.

Para as empresas industriais, isto pode envolver qualquer um dos sete desperdícios seguintes: (WOMACK, JONES e ROOS, 1990; OHNO, 1997; DIAZ e ARDALAN, 2009; SHINGO, 1996).

- 1) Transporte - é o movimento de materiais de um local para outro. É um desperdício, uma vez que não acrescenta valor ao produto. Mover uma peça desnecessariamente durante um processo de produção é um desperdício. Ela também pode causar danos à peça, o que gera retrabalho e desperdício.
- 2) Inventário - Inventário gera custo. Cada pedaço de produto imobilizado em matérias-primas, produtos em curso ou acabados têm um custo. O inventário tem de ser armazenado, precisa de espaço, de embalagem e tem que ser transportado pelos diversos setores da fábrica. O inventário corre o risco de ser danificado durante o transporte e até de tornar-se obsoleto.
- 3) Movimentos desnecessários - referem-se aos movimentos ou etapas extras em um processo, devido a *layouts* de plantas ineficientes e outras barreiras a um fluxo de trabalho contínuo. Por exemplo: um operário curvar-se para recuperar objetos pesados ao nível do chão, quando estes poderiam ser alimentados no nível da cintura, para reduzir o estresse e o tempo de operação. Curso excessivo entre as estações de trabalho, movimentos excessivos da máquina entre operações, são exemplos de desperdício de movimento.
- 4) Espera – O desperdício de espera interrompe o fluxo, um dos principais princípios da manufatura enxuta. É um dos mais importantes dos sete desperdícios ou sete mudas de manufatura enxuta. Um operador ocioso entre as operações é um desperdício. É aceitável que uma máquina espere pelo operador, mas é inaceitável que o operador espere pela máquina. Quantas vezes se gasta tempo na espera pela

resposta de outro departamento da organização ou à espera de uma entrega de um fornecedor ou de um mecânico de manutenção para vir e consertar uma máquina? Nas empresas existe uma tendência a se gastar uma enorme quantidade de tempo de espera para as coisas de trabalho (e vida pessoal também), o que é um desperdício óbvio.

- 5) Superprodução - Obviamente um produto que não pode ser vendido ou tem que ser negociado a um preço reduzido é um desperdício. Também produzir antes que o cliente faça o pedido exige armazenamento, trabalhar com lotes grandes, longos tempos de espera geram custos. A superprodução leva a altos níveis de estoque que mascaram muitos dos problemas dentro de sua organização.
- 6) Excesso de processamento - é o uso de técnicas inadequadas. Equipamentos fora de padrão, trabalhando com tolerâncias muito apertadas, executando processos que não são exigidos pelo cliente. Todas estas coisas custam tempo e dinheiro.
- 7) Correção - O mais óbvio dos sete desperdícios, embora nem sempre o mais fácil de se detectar antes que eles atinjam seus clientes. Erros que causam defeitos de qualidade, invariavelmente, custam-lhe muito mais do que se espera. Cada item defeituoso exige retrabalho ou substituição, desperdiçando recursos e materiais, podendo levar à perda de clientes. Retrabalhar partes por causa de erros de fabricação é uma grande fonte de desperdício. Além disso, classificação e inspeção de peças é desperdício e pode ser eliminada por processos à prova de erros (projetar seus processos para que o produto só possa ser produzido de uma maneira, que é a maneira correta).

Talvez a fonte mais significativa de desperdícios seja o inventário. Material em processo e estoque de peças acabadas não agregam valor a um produto e este estoque deve ser reduzido ou, se possível, eliminado.

Quando o estoque é reduzido, problemas ocultos podem aparecer e a resolução deve ser iniciada imediatamente. Há muitas maneiras de reduzir a quantidade de inventário. Uma delas é reduzir o tamanho dos lotes de produção. A redução do tamanho dos lotes, no entanto, deve ser precedida por uma redução de tempo de *setup*, de modo a tornar o custo por unidade constante. (SIMONS e ZOKAEI, 2005).

Na Toyota, Shingo desenvolveu o conceito de troca rápida de ferramentas

(SMED)³ para reduzir tempos de *setup*. Por exemplo, tempos de *setup* em prensas de grande porte podem ser reduzidos de horas para menos de 10 minutos. Isto tem um grande impacto na redução de tamanho de lote, reduzindo também o estoque. É claro que quando o estoque é reduzido outras fontes de desperdício são reduzidas também. Por exemplo, o espaço que foi usado para manter o estoque pode ser utilizado para outras coisas, como aumentar a capacidade da instalação. Além disso, a redução nos tempos de *setup* serve como um meio de reduzir o estoque. (SHINGO, 1996).

Tempo de transporte é outra fonte de desperdício. Mover peças de uma extremidade da instalação para outra não agrega valor ao produto. Assim, é importante diminuir o transporte dentro do processo de fabricação. Uma maneira de fazer isso é utilizar manufatura celular. Quando as máquinas e as pessoas são agrupadas em células, operações improdutivas podem ser minimizadas, pois um grupo de pessoas pode ser totalmente dedicado a essa célula, evitando a utilização humana em excesso (WOMACK, 2008, NOGUEIRA, 2008).

Não há dúvida de que a eliminação de desperdício é um ingrediente essencial para a sobrevivência no mundo de hoje. As empresas devem esforçar-se para criar produtos de baixo custo e alta qualidade, que possam chegar aos clientes no menor tempo possível. (SHAH e WARD, 2007).

2.2 Fundamentos do *Lean*

Além do MFV, 5S e da produção puxada por *kanban*, existem outros componentes que cresceram fora do movimento de manufatura enxuta e tornam-se mais ou menos do conhecimento comum. A lista geral dos princípios *Lean* é mostrada no Quadro 2. (ALUKAL, 2006).

³ SMED (*Single Minute Exchange of Die*), é a ferramenta Lean usada para criar transições muito rápidas e configurações que reduzem bastante o tempo de inatividade da máquina e aumentar a taxa de transferência.

Quadro 2: Lista dos princípios Lean

Princípios Lean
Mapeamento de Fluxo de Valor
Gerenciamento Visual
Disposição Simplificada
Ponto de uso de Estoque
Trabalho Padrão
Qualidade na Fonte
5S
Troca Rápida
Redução de Tamanho de Lote (Fluxo de Peça Única)
Puxar / Sistema Kanban
Fluxo de Células
Manutenção Produtiva Total

Fonte: Adaptado Lean Institute Brasil

2.3 Gerenciamento Visual

A teoria da Gestão Visual é realmente simples, ou seja, envolve o uso de pistas visuais para solicitar alguma ação lógica. Por exemplo, uma pia com louça suja solicita um processo de lavagem do prato, um jarro de leite quase vazio leva a uma viagem para o supermercado. Comunicação visual é mais clara que a instrução verbal ou escrita. Através do uso de fitas coloridas, luzes piscando, locais de armazenamento cheio ou vazio, placas de passo progressivo da produção, etc., o estado de qualquer instalação de valor agregado pode ser rapidamente avaliado. Placas de sequenciação fornecem às equipes de foco no cliente, aos operadores e aos gestores uma visão do *status* atual do chão de fábrica, incluindo o fluxo de informações, a disponibilidade de materiais, a prontidão e anormalidades (NEESE, 2007, NAVÉ, 2002).

Outro aspecto da gestão visual é o módulo andon⁴ de produção. Nas linhas de montagem japonesas, se um operador está atrasado em sua produção e não vai completar a seu trabalho no tempo previsto, ele puxa uma corda andon que liga um interruptor e acende uma lâmpada. Essa ação leva imediatamente o supervisor de linha a: 1) ajudar o operador a concluir a operação no tempo e, mais importante, 2) prevenir o defeito daquela estação em todas as operações subsequentes (NEESE, 2007).

Assim, o termo "andon" é muitas vezes usado como sinônimo do processo de escalonamento em tempo real para uma linha de produção mais lenta ou parada.

⁴ Andon - Nome japonês para um dispositivo de controle da produção visual (geralmente um painel iluminado de visualização) que mostra o status continuamente em mudança da linha de produção e os sons dealertas se um problema é iminente.

Dossenbach (2006) afirma que as empresas ocidentais sempre deram prioridade aos indicadores de resultados, enquanto as empresas japonesas desenvolveram indicadores de processo muito mais extensivamente. De acordo com ele, essa diferença se origina a partir de dois estilos de gestão distintos: Os ocidentais são mais profundamente interessados em benefícios de curto prazo, mas colocam significado limitado a formas de obtê-los. Por outro lado, os japoneses acreditam que a definição de um método adequado merece prioridade.

Uma grande variedade de informações pode ser exibida, que também podem medir fatores no processo de produção: a confiabilidade do equipamento, a mobilidade dos funcionários, o número de pequenas melhorias, *lead times* de produção, e assim por diante. Os indicadores de resultados não são ignorados, mas não são mais vistos de forma isolada (SCHMENNER e TATIKONDA, 2005).

A publicação de indicadores e metas não é uma parte tangível do produto acabado ou serviço. Este fato exige que as medidas e metas sejam fáceis de gerar, atualizar e manter. Além disso, as postagens são mais eficazes quando exibidas em um lugar de destaque, onde não há desordem (JONES, 2006).

2.4 Manufatura Celular

Célula de produção é um dos pilares para a implantação da filosofia de manufatura enxuta. Uma célula consiste de equipamentos e estações de trabalho dispostos numa ordem que permita manter o fluxo regular de materiais e componentes durante o processo. A célula também exige operadores qualificados e treinados para trabalhar (BOUZON, 2006).

Organizar pessoas e equipamentos em células tem grande vantagem em termos de realização dos objetivos da manufatura enxuta. Uma das vantagens das células é o conceito de fluxo de uma peça, que afirma que cada produto se move através do processo um de cada vez, sem interrupção brusca, em um ritmo determinado pela necessidade do cliente. Quando os clientes exigem uma alta variedade de produtos, bem como uma entrega mais rápida, é importante ter flexibilidade no processo para acomodar-se às suas necessidades. Esta flexibilidade pode ser alcançada através do agrupamento de produtos semelhantes em famílias que possam ser processadas no mesmo equipamento e na mesma sequência. (BOUZON, 2006).

Outros benefícios associados à manufatura celular incluem:

- Inventário (especialmente WIP⁵) redução.
- Redução de transporte e manuseio de materiais.
- Melhor utilização do espaço.
- Redução do *lead time*.
- Identificação de causas de defeitos e problemas em máquinas.
- Maior produtividade.
- Maior trabalho em equipe e comunicação.
- Maior flexibilidade e visibilidade.

2.5 Melhoria Contínua

Melhoria contínua é outra ferramenta fundamental da produção enxuta. *Kaizen*, que é a palavra japonesa para um esforço contínuo em busca da perfeição, tornou-se popular no Ocidente como um conceito fundamental por trás de uma boa gestão.

Kaizen é uma abordagem sistemática e gradual de melhoria contínua ordenada.

As melhorias nas configurações de fabricação podem ocorrer de várias formas, tais como redução de estoques e redução de peças defeituosas (HINES, HOLWEG e RICH, 2004).

Outra ferramenta de melhoria contínua muito eficaz é o 5S, que é o primeiro passo para a redução modular do desperdício grave. O conceito subjacente ao 5S é olhar para os desperdícios (que poderiam ser de sucata, defeitos, matéria-prima em excesso, itens desnecessários, ferramentas velhas e quebradas e equipamentos obsoletos) e tentar eliminá-los. (DIAZ e ARDALAN, 2009).

O 5S refere-se às palavras japonesas "*seiri, seiton, seison, seiketsu e shitsuke*", que livremente traduzidas significam, utilizar, arrumar, limpar, padronizar e disciplinar. O 5S ajuda uma área de produção, seja uma fábrica ou escritório, a manter um nível de ordem e padronização que evidencia os desperdícios, defeitos e anormalidades (BOYER, 2003):

- *Seiri* ou Classificar é o primeiro passo do 5S, refere-se à classificação da desordem dos itens que são realmente necessários dentro da área de trabalho.

⁵ *Work in process/progress* (WIP), também chamada de trabalho em processo, é o inventário que começou o processo de fabricação e não está mais incluído no inventário de matérias-primas, mas ainda não é um produto completo (LEAN.ORG).

Esta etapa exige que a equipe remova todos os itens que claramente não pertencem à área de trabalho, deixando apenas aqueles que são necessários para os processos em questão.

- *Seiton* ou endireitar é o processo de tornar necessários os itens que são remanescentes após a remoção do lixo e organiza-los de forma eficiente através do uso de princípios de ergonomia, garantindo que cada item "tem um lugar e que tudo está em seu lugar."
- *Seiso* ou varredura é a limpeza completa da área de produção, das ferramentas, máquinas e outros equipamentos, para garantir que tudo seja devolvido a um *status* de "quase novo". Isso garantirá que qualquer não conformidade seja destacada, tal como um vazamento de óleo de uma máquina em um brilhante piso recém-pintado e limpo.
- *Seiketsu* ou padronizar é o processo de garantir que o que foi feito dentro das primeiras três etapas do 5S se tornaram padrão, ou seja, podemos garantir que temos formas de trabalho e normas comuns. Padrão de trabalho é um dos princípios mais importantes da manufatura enxuta.
- O estágio final do 5S é *Shitsuke* ou manter, garantindo que a empresa continue a melhorar continuamente usando as etapas anteriores do 5S, manutenção, limpeza e realização de auditorias e assim por diante. 5S deve tornar-se parte da cultura do negócio e da responsabilidade de todos na organização (FELD, 2000).

Tomados em conjunto, os 5S significam boa gestão e organização do local de trabalho. Ferramentas como o 5S e *Kaizen* não são apenas meios para aumentar a lucratividade de uma empresa, mas também para permitir às empresas revelarem potenciais forças e capacidades que estavam escondidas antes (RAGHUNATHAN, RUBENSTEIN e MILLER, 2004).

2.6 Just-In-Time

Intimamente associado à manufatura enxuta está o princípio do *just-in-time*. É uma ideia de gestão direcionada a eliminar fontes de desperdício de fabricação, produzindo corretamente no lugar certo, no momento certo (SIMONS e ZOKAEI, 2005).

Inventário e sistemas de fluxo de material são geralmente classificados como empurrar (tradicional) ou puxar (*just-in-time*) sistemas. A demanda dos clientes é a

força motriz por trás de ambos os sistemas. No entanto, a grande diferença está na forma como cada sistema lida com a demanda do cliente. *Just-in-time* (JIT) é uma ferramenta que permite ao processo interno de uma empresa adaptar-se às mudanças repentinas no padrão de demanda pela produção do produto certo na hora certa e na quantidade certa (DIAZ e ARDALAN, 2009, MONDEN, 1998).

Além disso, *just-in-time* é uma ferramenta fundamental para gerir as atividades externas de uma empresa, como a compra e distribuição. Ele pode ser desmembrado em três elementos: JIT de produção, JIT de distribuição e JIT de compra (SHAH e WARD, 2007).

Alguns dos benefícios do JIT são:

- Eliminar o trabalho em processo desnecessário, o que resulta em redução do custo de estoque.
- Uma vez que as unidades são produzidas apenas quando são necessárias, é possível detectar precocemente problemas de qualidade.
- Uma vez que o estoque é reduzido, o desperdício de espaço de armazenamento será reduzido.
- Evitar excesso de produção pode revelar problemas ocultos.

2.6.1 Produção *Just-In-Time*.

Como já mostrado, a manufatura enxuta trabalha na eliminação de desperdícios, onde quer que seja. Um dos passos mais importantes na implementação da manufatura enxuta é o JIT. Diaz e Ardalan (2009) e Bouzon (2006) concordam que a produção JIT é a espinha dorsal da manufatura enxuta.

O *Just-in-time* de produção fundamenta-se em não ter excesso de matérias-primas, de material em processo ou de produtos que são necessários para uma operação suave. O JIT utiliza o que é conhecido como um "*system pull*". A demanda dos clientes é o fato gerador da ordem que envia o primeiro sinal para a produção. Um dos principais objetivos da manufatura enxuta é interligar os processos de produção por fluxo contínuo. Onde o fluxo desejado não é possível, devido a operações à distância ou processos pouco confiáveis, um fabricante pode converter a produção de empurrar em operações de puxar, ou seja, desde a fabricação até a previsão de produção, a fim de reabastecer unidades vendidas. A implementação do *Lean: kanban* puxar ajudará a reduzir os estoques e a obsolescência do produto, aumentar a produção e reduzir os

custos totais. A linha de montagem final vai para o processo anterior e puxa ou retira as peças necessárias na quantidade necessária e no momento necessário (DIAZ e ARDALAN, 2009, MONDEN, 1998).

No sistema *kanban*, a fabricação continua com cada processo puxando as peças necessárias do processo precedente. Para o *kanban* cartões, sinais ou comunicados passam no sentido contrário ao fluxo do processo. Um sistema de produção puxada é aquele no qual a demanda é real, na forma de uma compra ou pedido de vendas, que inicia ou puxa as atividades de produção. Em um sistema empurrado, por outro lado, a demanda prevista dá inicio às atividades de produção. O sistema empurrado é mais arriscado, porque o produto é produzido à frente no tempo da demanda real, o que resulta em produtos acabados à espera de distribuição e venda, enquanto que no puxado os produtos têm um cliente esperando. (BERGMILLER e MCWRIGHT, 2009).

Todo este processo é coordenado por meio do uso de um sistema *kanban*. As remessas JIT são produzidas em pequenos e freqüentes lotes. O *kanban* é usado para gerenciar as entregas ao cliente (GREEN, INMAN e BIROU, 2011).

O sistema *kanban*, muito anunciado como o resumo do movimento da manufatura enxuta, é explicado também como uma extensão da gestão visual. Uma das virtudes do sistema *kanban* é controlar os fluxos de materiais. (ALMEIDA e SOUZA, 2000).

Kankan é um sistema de informação visual que é usado para controlar o número de peças a serem produzidas em cada processo. Os tipos mais comuns de *Kanbans* são os *kanbans* de retirada, que especificam a quantidade de material que o processo deve puxar a partir do processo anterior, e os *kanbans* de produção, que especificam a quantidade a ser produzida pelo processo anterior (DIAZ e ARDALAN, 2009, MONDEN, 1998).

O *kanban* de retirada, que é ilustrado na Figura 2, mostra que a usinagem posterior (*machining*) processa as solicitações das peças do processo anterior de forjamento (*forging*). A parte que se origina no processo de forjamento é o pinhão (*drive pinion*) e pode ser pego na posição B-2 do departamento forjamento. Uma caixa do tipo B deve conter 20 unidades da peça necessária e este é o *kanban* quatro dos oito emitidos (DIAZ e ARDALAN, 2009, MONDEN, 1998).

Store Shelf No. <u>SE215</u>	Item Back No. <u>A2-15</u>	Preceding Process
Item No. <u>35670S07</u>		<u>FORGINGS</u>
Item Name <u>DRIVE PINION</u>		<u>B-2</u>
Car Type <u>SX50BC</u>		Subsequent Process
Box Capacity <u>20</u>	Box Type <u>B</u>	<u>MACHINING</u>
	Issued No. <u>4/8</u>	<u>M-6</u>

Figura 2 - Kanban de Retirada.

Fonte: Monden, 1998.

O *kanban* mostrado na Figura 3 é um *kanban* de produção que mostra que a máquina de usinagem (*machining*) SB-8 deve produzir um eixo de manivela para o tipo de carro especificado. A parte produzida deve ser armazenada na prateleira número F26-18.

Store Shelf No. <u>F26-18</u>	Item Back No. <u>A5-34</u>	Process
Item No. <u>56790-321</u>		<u>MACHINING</u>
Item Name <u>CRANK SHAFT</u>		<u>SB-8</u>
Car Type <u>SX50BC-150</u>		

Figura 3 - Kanban de Produção

Fonte:Monden, 1998.

O *kanban* fornecedor é outro tipo de *kanban*, que é usado entre o fornecedor e os fabricantes nos termos do JIT. A manufatura enxuta exige entregas rápidas, assim, muitos fabricantes exigem que seus fornecedores distribuam bens *Just in time*. A fim de alcançar entrega JIT, os fornecedores têm de ajustar os tamanhos dos lotes tradicionais para lotes menores. O *Kanban* fornecedor circula entre o fabricante e o fornecedor. O *Kanban* é entregue pelo fabricante ao fornecedor em horários predefinidos. Por

exemplo, se as peças foram transmitidas duas vezes por dia (08h00min e 22h00min), o motorista do caminhão entregaria o *Kanban* do fornecedor às 8 horas, que é um sinal para o fornecedor produzir a quantidade necessária. Ao mesmo tempo, o motorista pega as peças que foram terminadas às 8 horas daquela manhã, juntamente com o *Kankan* anexado às caixas contendo estas peças. Estes são os *Kanbans* que teriam chegado na noite anterior às 22 horas (DIAZ e ARDALAN, 2009; MONDEN, 1998).

Ao utilizar um sistema *kanban* em JIT, lotes menores e reduções significativas de inventário podem ser alcançados. Outro tipo de desperdício que é eliminado na produção JIT é a superprodução. Uma vez que cada processo está produzindo em um ritmo não superior à demanda dos clientes, o risco de produzir mais que o necessário é diminuído (DIAZ e ARDALAN, 2009).

2.6.2 Distribuição Just-In-Time.

Eficácia JIT depende muito de ter uma aliança estratégica entre compradores e fornecedores. Ao ter um distribuidor de logística terceirizado, as empresas podem concentrar-se em suas competências essenciais e em áreas de especialização, deixando a capacidade logística para empresas especializadas nesse tipo de atividade (SINGH, 2006; DIAZ e ARDALAN, 2009).

Terceirizados de logística (3PL) refere-se ao uso de uma empresa externa para realizar a totalidade ou parte da gestão dos materiais da empresa e funções de distribuição de produtos. 3PL pode suportar o *just-in-time* de distribuição (JITD), fazendo as entregas no momento exato da necessidade dos clientes ou distribuidores, com flexibilidade e tecnologia (DIAZ e ARDALAN, 2009; MONDEN, 1998).

JITD requer a mudança de frequência de entrega (pequenos lotes de itens entre fornecedores e clientes) e deve ter um sistema eficaz de gestão de transporte, porque o transporte de material de entrada e saída pode ter um grande impacto sobre a produção quando não há inventário *buffer*⁶ (SINGH, 2006; DIAZ e ARDALAN, 2009).

No processo JITD, ter um caminhão com carga completa, por vezes, é difícil, devido à entrega frequente de lotes menores, que por sua vez aumentam o custo de transporte. No entanto, para superar o problema Diaz e Ardalan (2009) afirmam que

⁶ Os estoques estrategicamente colocados que protegem o fluxo de material e cujo consumo é definido pelos horários em um sistema puxado, para estabilizar variações no tempo de oferta, demanda ou produção.

em vez de carregar parcialmente o caminhão com apenas um produto, a estratégia de agrupamento de produtos em comum torna possível carregar completamente os caminhões e aumentar o número de entregas.

2.6.3 Compras *Just-In-Time*.

Singh (2006), Diaz e Ardalan (2009) definem *just-in-time* de compra (JITC) como a aquisição de bens e serviços de tal forma que sejam entregues pouco antes de sua demanda, ou quando eles são necessários para o uso. A ideia de JITC contraria as práticas tradicionais de compras nas quais os materiais são trazidos com bastante antecedência para sua utilização.

Em atividades JITC, como seleção de fornecedores de matéria-prima, desenvolvimento de produto e lote de produção, o dimensionamento pode tornar-se crítico (GREEN, INMAN e BIROU, 2011).

A relação cliente-fornecedor é uma parte muito importante de JITC. No processo JITC é necessário ter um pequeno número de fornecedores qualificados. Tendo a empresa fornecedores com certificação de qualidade, transfere-se a inspeção de qualidade e de contagem de peças para a planta do fornecedor, o qual deve certificar-se de que essas peças estejam livres de defeitos, antes de serem transportadas para a planta do fabricante. Os benefícios da partilha de desenvolvimento de novos produtos e inovação no projeto incluem uma diminuição no custo do material comprado, o aumento da qualidade do material adquirido, uma diminuição no tempo, no custo de desenvolvimento, no custo de fabricação e um aumento nos níveis de tecnologia do produto final (DIAZ e ARDALAN, 2009; GREEN, INMAN e BIROU, 2011).

O objetivo final do JITC é garantir que a produção seja a mais próxima possível de um processo contínuo, desde a recepção da matéria-prima até a distribuição dos produtos acabados. Embora no JITP o custo do transporte de materiais aumente, devido à freqüência de lotes pequenos, este custo é compensado pela redução do custo do inventário, que diminui (SINGH, 2006).

2.6.4 Suavização de Produção

Em um sistema de manufatura enxuta, é importante passar para um maior grau

de controle de processo, a fim de esforçar-se para reduzir o desperdício. Outra ferramenta para alcançar este objetivo é a suavização de produção. *Heijunka*, a palavra japonesa para alisamento de produção, é como os fabricantes tentam manter o nível de produção o mais constante possível dia a dia (WOMACK, JONES e ROOS., 1990).

Heijunka é um conceito adaptado a partir do Sistema Toyota de Produção, no qual o cronograma de produção deve ser suave, de modo a efetivamente produzir a quantidade uniforme de peças e utilizar eficientemente a mão de obra. Se o nível de produção não é constante, isso leva a desperdícios no local de trabalho (WOMACK e JONES, 1998).

2.6.5 Padronização do Trabalho

Outro princípio importante para a eliminação de desperdícios é a padronização das ações dos trabalhadores. Trabalho padronizado, basicamente, garante que cada trabalho seja organizado e realizado de forma mais eficaz. Não importa quem está fazendo o trabalho. Os mesmos níveis de qualidade devem ser alcançados. Na Toyota cada trabalhador segue o mesmo método o tempo todo, incluindo o tempo necessário para terminar um trabalho, a ordem dos passos a seguir e as peças à mão. Uma ferramenta utilizada para padronizar o trabalho é chamada tempo *takt*, que é definido como o intervalo de tempo entre itens consecutivos em um sistema de produção que deve ser alcançado para atender à demanda do cliente. Se a demanda de clientes por dia, por exemplo, é de 40 itens e há 400 minutos de tempo de produção, então o tempo *takt* é de 10 minutos. O tempo *takt* é o 'batimento cardíaco' de um sistema de produção *Just in Time* ("*takt*" é a palavra alemã para batuta de um maestro). Tempo *takt* é calculado com base na seguinte fórmula (FELD, 2000):

$$\text{Tempo Takt(TT)} = \left(\frac{\text{Tempo de trabalho disponível por dia}}{\text{Demanda dos clientes por dia}} \right) \quad (1)$$

2.6.6 Manutenção Produtiva Total (TPM)

TPM é baseada nos princípios da manufatura enxuta. Sua principal característica é realização, pelos próprios operadores, das manutenções de rotina e de pequenos reparos. Isso pode envolver modificar máquinas e equipamentos, para facilitar a

inspeção e manutenção. A confiabilidade do equipamento no chão de fábrica é importante, pois uma quebra de máquina causa a parada da linha de produção inteira.

Uma ferramenta importante necessária para explicar quebra súbita de máquina é a manutenção produtiva total. Em quase todos os ambientes *Lean*, estabelecer um programa de manutenção produtiva total é fundamental (SOUZA, 2009).

Os métodos de manutenção incluem:

- Manutenção Preventiva (PM): é um sistema de rotina de inspeção dos equipamentos gravado para futura referência em registros de inspeção. Seu objetivo é antecipar e prevenir possíveis falhas de equipamento, fazendo inspeções periódicas e pequenos reparos. A manutenção planejada e regular em todos os equipamentos, em vez de *check-ups* aleatórios. Os trabalhadores têm de realizar a manutenção de equipamentos regularmente para detectar eventuais anomalias que possam ocorrer. Ao fazer isso, é possível evitar a quebra repentina das máquinas, o que leva a melhora no rendimento de cada máquina.
- Manutenção Corretiva: pode ser definida como a manutenção necessária quando um item falha ou está desgastado, para fazer o fluxo de trabalho voltar ao normal. A manutenção corretiva é realizada em todos os itens em que as consequências de falha ou desgaste não são significativas e os custos desta manutenção não seja maior que a manutenção preventiva. A atividade de manutenção corretiva pode consistir na reparação ou substituição de equipamentos (SOUZA, 2009).
- Manutenção Preditiva: é um conjunto de atividades com o objetivo de identificar a presença de deterioração ou a definição do grau de deterioração existente, detectar alterações na condição física dos equipamentos (sinais de falha), a fim de realizar o trabalho de manutenção adequada para maximizar a vida útil dos equipamentos, sem aumentar o risco de quebra (DIAZ e ARDALAN, 2009).

Manutenção Produtiva Total é uma estratégia de melhoria de processos dos elementos de um bom programa de manutenção, para atingir níveis mais elevados de eficácia do equipamento.

Os cinco elementos-chave ou pilares da TPM incluem (DIAZ e ADARLAN, 2009):

- 1) Manutenção Autônoma.
- 2) Melhoria dos Processos de manutenção.

- 3) Melhoria sistemática dos equipamentos.
- 4) Desenvolvimento de treinamentos e habilidades.
- 5) Gerenciamento do ciclo de vida dos equipamentos e manutenção preventiva.

2.6.7 Outras Técnicas de Redução de Desperdícios.

Algumas das ferramentas de reduções de outros desperdícios incluem zero defeito, redução de *setup* e equilíbrio de linha. A meta de zero defeito visa a assegurar que os produtos sigam sem falhas por todo o caminho, através de melhoria contínua do processo de fabricação (BADRINARAYANA e VISHNUPRIYA, 2007).

Seres humanos quase que invariavelmente cometem erros. Quando os erros ocorrem e não são detectados em seguida, aparecerão no final do processo. No entanto, se os erros puderem ser prevenidos, a ocorrência de peças defeituosas pode ser evitada (ARAUJO, 2004).

Uma das ferramentas que o princípio zero defeito usa é o *poka-yoke*⁷. O *poka-yoke*, que foi desenvolvido por Shingo, é um sistema de controle autônomo de defeitos colocado em uma máquina que inspeciona todas as peças, para certificar-se de que há zero defeito. O objetivo da *poka-yoke* é observar as peças com defeito na fonte, detectar a causa do defeito e evitar mover a peça defeituosa para a estação seguinte. O *poka-yoke* utiliza dispositivos em equipamentos de processo, para evitar que os erros humanos ou de máquinas resultem em defeitos, inspecionando cada item produzido para determinar se é aceitável ou defeituoso (MIRALLES, 2011).

A filosofia *Poka-Yoke* também visa facilitar o trabalho e evitar erros causados pela monotonia ou outro processo de causas relacionadas a um defeito. Por outro lado, o *poka-yoke* tem como objetivo aumentar a produtividade simplificando processos, tornando-os mais eficientes, reduzindo o número de erros a serem corrigidos, aumentando a eficiência global do sistema. O *poka-yoke* pode ser usado sempre onde os erros podem ocorrer e pode ser aplicado a quaisquer tipo de processo, melhorando a qualidade do produto e seus resultados gerais. O *poka-yoke* apoia os esforços para eliminar desperdícios causados por maior inventário de produção, espera, transporte, movimento, sobre-processamento, defeitos de qualidade, redefinição de prioridades e também os desperdícios causados por inabilitades das pessoas. O *poka-yoke* representa

⁷ Poka-Yoke - palavra japonesa que significa a prova de erro.

um conjunto de formas simples e relativamente baratas para melhorar o acesso ao trabalho, à produtividade e desempenho dos trabalhadores portadores de deficiência física ou não (MIRALLES, 2011).

Shingo desenvolveu o SMED em 1950, na Toyota. A ideia básica do SMED é a redução do tempo do *setup* de uma máquina a um tempo não superior a 9 minutos e 59 segundos. Existem dois tipos de ações, durante o *setup* de uma máquina: a interna e a externa. Atividades de configuração interna são aquelas que podem ser realizadas somente enquanto a máquina está parada, enquanto as de configuração externa são aqueles que podem ser feitas enquanto a máquina está funcionando. A ideia é mover atividades de interna para externa (FELD, 2000).

Depois que todas as atividades internas são identificadas, o próximo passo é tentar simplificá-las (por exemplo: padronizar a instalação, usando menos parafusos). Através da redução do tempo de *setup* é possível eliminar desperdícios de tempo (LASA et al., 2008).

Balanceamento de linha é considerada uma grande arma contra o desperdício, especialmente o de tempo dos trabalhadores. A ideia aqui é fazer com que cada estação de trabalho produza o volume a ser enviado para as estações de trabalho a jusante, sem qualquer parada, garantindo que cada estação de trabalho esteja trabalhando de maneira sincronizada, nem mais rápida, nem mais lenta que outras estações de trabalho (MACHADO, 2006, LASA et al., 2008).

2.7 De Lean Manufacturing para Lean Enterprise

A eliminação de desperdícios é um processo que analisa o sistema como um todo. É preciso olhar para os segmentos interdependentes da empresa, desde matérias-primas até distribuição e venda dos produtos acabados. Womack e Jones (1994) definem a empresa enxuta como "um grupo de indivíduos, funções e empresas legalmente separados, mas operacionalmente sincronizados".

Fazer uma empresa enxuta significa que os trabalhadores, gestores, fornecedores e clientes são todos considerados como ativos poderosos da empresa (BERGMILLER e MCWRIGHT, 2009).

Os gerentes têm reconhecido que para alcançar a satisfação do cliente é preciso entregar um produto de melhor qualidade. A organização deve concentrar-se sobre os processos críticos, ao invés de focar-se em funções individuais ou de departamentos.

Esses processos devem servir a dois principais objetivos. O primeiro é fazer o cliente acreditar na organização como um fornecedor qualificado de um produto ou serviço e o segundo é demonstrar capacidade para atender as necessidades do cliente. Para conseguir isso, as empresas e os gestores devem colocar mais esforço para elevar o conjunto da empresa, ao invés de focar o desempenho das pessoas, funções e partes da empresa (BERGMAN et al., 2008).

Empresa enxuta é uma extensão da manufatura enxuta. No entanto, empresa enxuta vai além, concentrando-se sobre a empresa, seus funcionários, seus parceiros, e seus fornecedores, para agregar valor ao produto na perspectiva do cliente. A empresa enxuta tenta alinhar e coordenar a criação de valor para o processo de um produto acabado ou serviço ao longo do fluxo de valor. Ela examina cuidadosamente todos os passos necessários para fabricar um novo produto ou serviço, desde a ideia até a produção, desde o pedido até a entrega, desde a matéria-prima ao produto final entregue (AMIN e KARIM, 2011).

Estes passos podem ser perfeitamente realizados através do envolvimento de todas as partes. Todos os processos são continuamente examinados em função da definição do cliente, acrescentando atividades de valor e sem valor, eliminando metodicamente os desperdícios.

Existem três diferentes tipos de atividades em quase todas as organizações (SINGH, 2006):

- 1) Atividades que acrescentam valor: Incluem todas as atividades que o cliente visualiza como valiosa num produto ou serviço. Exemplos incluem a conversão de minério de ferro (com outras coisas) em carros. Para definir uma atividade de que agrupa valor, a empresa deve perguntar-se se o cliente estaria disposto a pagar por essa atividade.
- 2) Atividades necessárias, mas que não acrescentam valor: São atividades que, sob olhar do cliente final, não tornam um produto ou serviço mais valioso, mas são necessárias no âmbito das condições de funcionamento atual. Esses desperdícios são difíceis de remover imediatamente e devem ser alvos de mudanças em longo prazo. Exemplos incluem caminhar longas distâncias para pegar peças ou desembalar caixas de fornecedor. Estes podem ser eliminados ao se mudar o *layout* atual de uma linha ou a organização de itens entregues desempacotados pelo fornecedor.
- 3) Atividades desnecessárias, sem valor: Estas incluem todas as atividades que o cliente imagina como não valiosa tanto em um produto ou em um serviço. Essas atividades são puro desperdício e devem ser alvo de imediata remoção. Exemplos incluem o

tempo de espera, empilhamento de produtos e transferências de estoque.

Há uma grande quantidade de empresas que está implementando a produção enxuta (WOMACK, 2008).

2.8 Visão geral de *Supply Chain Management*

A maior expectativa dos clientes, o mercado competitivo e o fluxo de materiais para o mercado com menor *lead-time* têm forçado muitas empresas a concentrarem-se mais na gestão da cadeia de suprimentos. A cadeia de suprimentos típica é composta pelos fornecedores de matérias-primas, fabricantes, distribuidores e clientes finais. Matérias-primas são enviadas para a produção, onde são convertidas em produtos finais que, em seguida, são enviados para os usuários finais (clientes) (MESQUITA e CASTRO, 2008).

Para minimizar custos e desperdícios em todo o sistema, é necessária a gestão da cadeia de suprimentos durante todo o processo, desde o recebimento da matéria-prima até a entrega do produto acabado.

Supply chain management é “um conjunto de abordagens utilizadas” para integrar eficientemente fornecedores, fabricantes, armazéns e lojas, de modo que a mercadoria seja produzida e distribuída nas quantidades certas, para os locais certos, e no momento certo (SIMCHI-LEVI, KAMINSKY e SIMCHI-LEVI, 2004; SETH, SETH GOEL e, 2008).

O objetivo final da gestão da cadeia de abastecimento é minimizar o custo dos sistemas e dos desperdícios. Para tornar-se *Lean*, uma empresa deve ter uma cadeia de suprimentos integrada a partir da frente (fornecedores), através do meio (fabricantes e distribuidores), até o final (clientes). Assim, o custo total de desperdícios a partir do transporte e distribuição de matéria-prima, o trabalho em processo e produtos acabados deve ser minimizado (PLENERT, 2007).

2.8.1 Integração do Cliente

No mercado flexível e rápido de hoje, um peso maior é dado ao valor do cliente e à sua satisfação. As empresas hoje não podem mais depender somente de medidas financeiras para verificar seu *status*, mas devem também olhar para outras medidas, tais como a satisfação e valor do cliente. Satisfação do cliente é o conceito de quão

bem os clientes atuais estão utilizando o produto da empresa e quais seus sentimentos sobre o serviço (SIMCHI-LEVI, KAMINSKY e SIMCHI-LEVI, 2004).

Através da avaliação recebida dos clientes, a empresa pode fazer uma introspecção em áreas que precisam ser melhoradas e gerar ideias para serviços e produtos. Outro conceito importante é o valor do cliente. Valor do cliente é como ele percebe todo o espectro do que a empresa oferece em termos de produtos e serviços (SIMCHI-LEVI, KAMINSKY e SIMCHI-LEVI, 2004).

Basicamente, os clientes estão sempre à procura de melhor qualidade do produto, preços mais baixos, serviços de valor agregado, mais flexibilidade e menor tempo de entrega.

Um dos princípios da gestão da cadeia de abastecimento é a capacidade de responder aos requisitos do cliente de forma rápida e flexível. Esta resposta inclui a distribuição física dos produtos, o *status* de sua ordem e o acesso a estas informações. Os clientes estão sempre preocupados com o *status* de seus pedidos, às vezes para conseguir uma vantagem competitiva com a redução de tempo (SIMCHI-LEVI, KAMINSKY e SIMCHI-LEVI, 2004).

Permitir que os clientes tenham acesso ao *status* de seus pedidos pode desenvolver mais confiança entre eles e a empresa. A Fedex foi a primeira a usar um sistema de rastreamento, no qual um cliente pode verificar o status de seus pacotes em um determinado momento. Permitir que os clientes participem do processo de projeto inicial também pode melhorar o valor para o cliente. A Dell, uma das principais indústrias de computadores pessoais (PC), através do seu modelo direto de negócios, permite aos clientes construir a seu próprio PC (DANESE e ROMANO, 2011).

Sistemas de serviços de valor agregado podem desempenhar um grande papel nas relações entre clientes e empresas. Suporte e manutenção são muito importantes do ponto de vista dos clientes, especialmente para produtos que exijam assistências técnicas de serviço constantes após a compra. Ter bom valor agregado de serviços pode gerar mais receita (por exemplo, cobrando uma pequena taxa para suporte de atendimento ao cliente) e, ainda, preencher uma lacuna entre a empresa e seus consumidores (DANESE e ROMANO, 2011).

Analisando e melhorando seus processos internos, uma empresa pode ganhar mais e melhorar seu serviço e suporte. Este é outro benefício de valor agregado que o cliente pode perceber. Acesso à informação é um dos serviços de valor agregado que permite aos clientes rastrear seus pedidos (SIMCHI-LEVI, KAMINSKY e SIMCHI-

LEVI, 2004).

2.8.2 Integração do fornecedor

Um dos componentes mais importantes da empresa enxuta é a extremidade dianteira do fornecimento da cadeia. O fornecedor é um fator importante que contribui para o sucesso da filosofia *Lean*. Tendo em conta que os custos de matéria-prima são responsáveis por mais da metade do custo das mercadorias vendidas, as empresas não podem ver os seus fornecedores como estranhos, mas sim como uma parte da equipe (SAWHNEY et al., 2007).

A integração com o fornecedor foi introduzida primeiro na indústria automotiva e uma das pioneiras foi a Toyota. Em 1950, a Toyota começou um novo movimento em direção ao desenvolvimento de componentes. Ela estruturou seus fornecedores em diferentes níveis funcionais, que foram distribuídos em cada camada com diferentes responsabilidades. À primeira linha de fornecedores da Toyota foi atribuída a tarefa de trabalhar com a equipe de desenvolvimento do produto. Os fornecedores foram orientados a desenvolver um produto específico em um carro para atender às especificações de desempenho indicadas. A Toyota, então, pediu que seus fornecedores apresentassem um produto experimental para testes e se o produto funcionasse conforme especificado os fornecedores obteriam a ordem de produção. A filosofia Toyota era incentivar todos os fornecedores de primeira linha a comunicarem e compartilharem informações entre si, de modo a melhorar o processo de design (PLENERT, 2007, HWANG, 2011).

Os fornecedores não estavam relutantes em compartilhar informações entre si, porque cada fornecedor era especializado em diferentes tipos de componentes, e, portanto, não teriam de competir uns com os outros (WOMACK, JONES e ROSS, 1990).

Gerentes devem procurar oportunidades de competir continuamente no crescimento dos mercados. Uma dessas oportunidades é a integração de fornecedores no desenvolvimento de projetos e produtos. Por exemplo, a fim de acelerar a introdução do produto no mercado, uma empresa tem de tirar vantagem das capacidades de um fornecedor. No entanto, existem diferentes níveis de integração com o fornecedor, dependendo de como profundamente a empresa quer que seus fornecedores se envolvam. Um estudo realizado pela Universidade de Michigan identifica diferentes

níveis de integração do fornecedor, como segue (SIMCHI-LEVI, KAMINSKY e SIMCHI-LEVI, 2004):

- None: O fornecedor não está envolvido no projeto. Materiais e subconjuntos são fornecidos de acordo com as especificações do projeto do cliente.
- Caixa Branca: Este nível de integração é informal. O comprador consulta o fornecedor informalmente ao projetar produtos e suas especificações, embora não haja nenhuma colaboração formal.
- Caixa Cinza: representa a integração formal de fornecedor. Equipes colaborativas são formadas por comprador, fornecedor, engenheiros e o desenvolvimento ocorre em conjunto.
- Caixa Preta: O comprador dá ao fornecedor um conjunto de requisitos de interface e o fornecedor independente projeta e desenvolve o componente requerido.

Fornecimento enxuto é um modelo estratégico para o relacionamento dos clientes e fornecedores.

O **Quadro 3** mostra as principais características do modelo de fornecimento enxuto.

Quadro 3: Visão Geral do Fornecimento Enxuto.

Visão Geral do fornecimento Enxuto	
Fator	Características de Fornecimento enxuto
Natureza da competição	Concorrência entre as cadeias de abastecimento. Foco ba competitividade total de um fluxo de valor. Ausência de concorrência entre os membros de uma cadeia de suprimentos: dependente mediante parcerias; alto nível de confiança, abertura, lucro e partida.
Base em decisões de prospecção de mercado	Simples ou dupla prospecção. O tempo de vida das relações muitas vezes é de longo prazo. Critério de compra é baseado no benefício máximo da rede. Número de fornecedores é baixo e muito estável.
Estrutura de fornecimento	Estrutura da oferta em camadas. O líder é o OEM (empresa trazendo design e componentes da juntas).
O papel dos fornecedores	Tem uma abordagem pró-ativa para melhorar a competitividade completa da Cadeia de suprimentos. Fornecer com alto grau de inovação em processos e novos produtos. Fornecedor é uma empresa líder de tecnologia na área.
Desenvolvimento de fornecedores	Elevado nível de coordenação de fornecedores em cada nível de estrutura de oferta. Fornecedores dentro de fluxos de valor são vistos como um grupo, grupo baseado em ferramentas de desenvolvimento estão sendo usados. Esforço significativo por parte dos clientes em cada nível para desenvolver seus fornecedores. Busca da perfeição pela contínua remoção de desperdícios ao longo do fluxo de valor.
Intercâmbio de dados e interação	Verdadeira transparência: custos, capacidade etc. Algumas estratégias são detalhadas dentro da rede. Interação muito frequente a nível operacional, se apoalhando por toda a rede.
Princípios de produção	Capacidade Sincronizada. Flexibilidade operacional capaz de operar com flutuações.

Fonte: Adaptado de Lehtinen e Torkko, (2005).

O ponto principal de fornecimento enxuto é o conceito de parceria como uma forma de colaboração. O termo é definido por Womack e Jones (1998) como "um relacionamento contínuo entre duas organizações, que envolve um compromisso durante um período de tempo prolongado e uma mútua partilha dos riscos e recompensas de relacionamentos." As outras características principais que definem parcerias, muitas vezes mencionados na literatura, são a troca de ideias, informações e benefícios, investigação conjunta e desenvolvimento de tecnologia baseada nas relações de confiança de longo prazo. O fornecimento enxuto trata das vantagens do desenvolvimento de fornecedores em rede. Num estágio avançado, o fornecedor terá um papel proativo no desenvolvimento comum de métodos de trabalho, proporcionando vantagem mútua em toda a cadeia de suprimentos.

2.8.3 Integração do fabricante

Na cadeia de abastecimento, o elo entre o fornecedor e o cliente é o fabricante. A maioria dos processos centrais, em termos de produção real, é realizada no *site* do fabricante. Como mencionado anteriormente, o objetivo principal de uma cadeia de suprimentos é a redução dos custos e dos desperdícios de todo o sistema. É na cadeia de abastecimento que a maioria dos desperdícios é encontrada. Por exemplo, manutenção de estoque e custos de *set-up*, custos de transporte e tempo de espera criam um grande desafio para a cadeia de suprimentos, em termos de como estes devem ser melhor gerenciados (WALSH, 2008; GARDNER, 2008).

A integração entre fornecedor, fabricante e distribuidor é necessária para efetivamente gerenciar o estoque no sistema. Para reduzir o inventário no fabricante, uma política de estoque eficaz vai depender da natureza específica da cadeia de abastecimento. Por exemplo, se um intercâmbio eletrônico de dados (EDI) do sistema está em uso, deve ser projetado de modo que fornecedor, fabricante, distribuidor possam compartilhar dados. Se a informação é compartilhada, a variabilidade no sistema é reduzida, a melhor previsão da demanda é alcançada, o inventário (particularmente no fabricante) é reduzido (AGARWAL, SHANKAR e TIWARI, 2006).

Outros desperdícios importantes que existem na cadeia de abastecimento são longos prazos de entrega. Para satisfazer seus clientes, o fabricante (ou o varejista) deve ter uma entrega com *lead-times* curtos e precisos (WALSH, 2008; SIMCHI-LEVI, KAMINSKY e SIMCHI-LEVI, 2004).

Uma maneira de reduzir o *lead-time* é ter um EDI eficiente, sistema no qual todas as partes envolvidas na cadeia de abastecimento estão ligadas, o que pode cortar a porção de tempo de entrega que está relacionada ao processamento de pedidos, a papelada e atrasos de transporte (SIMCHI-LEVI, KAMINSKY e SIMCHI-LEVI, 2004).

Por ter uma cadeia de suprimentos integrada, muitos dos desperdícios que ocupam o sistema podem ser eliminados ou reduzidos. Isto inclui o inventário de todas as formas, a superprodução no *site* do fabricante, prazo de entrega longo e muitos outros desperdícios. Reduzir esses desperdícios terá um efeito significativo sobre a minimização do custo do sistema inteiro (SETH, SETH e GOEL, 2008).

2.8.4 Funcionalidade do ERP, capacidades e limitações

Enterprise Resource Planning (ERP) tornou-se quase lugar comum, na maioria das grandes corporações. Além disso, como as empresas crescem por meio de fusões e aquisições, a necessidade de consolidar sistemas incompatíveis também deu um empurrão para implementar o tipo de tecnologia da informação ERP. Os ERP's são as formas de Tecnologia da informação (TI) mais empregadas para coordenar as atividades da cadeia de suprimentos.

Além da compatibilidade de softwares e as razões de consolidação, existem muitas outras razões que tornam os sistemas ERP atraentes. Mais importante é a integração perfeita de finanças, vendas e marketing, operações e logística, recursos humanos e gestão de materiais (CORONADO e LYONS, 2007).

Este mecanismo permite ligar os dados de visibilidade e padronização de processos em toda a empresa. Outros benefícios relatados são os inventários mais baixos e ciclos mais curtos de entrega. Por fim, a plataforma integrada permite as operações globais e habilidades de *e-commerce*.

Um sistema de ERP, como parte mais ampla de TI, é apenas um de uma longa lista de facilitadores (pessoas, conhecimento, fornecedores). Até agora, não foi encontrado nenhum software único capaz de atender às necessidades de qualquer empresa. Por esta razão, os sistemas ERP são modulares na arquitetura, de tal forma que vários módulos "*bolt-on*"⁸ software podem ser agrupados para atender as necessidades

⁸ Sistema *bolt-on* é um software personalizado, desenvolvido ou ferramenta que lê ou escreve para o banco de dados de outro sistema de comércio eletrônico.

personalizadas de uma determinada empresa. Ainda assim, a compatibilidade do sistema é o maior desafio nesse sentido (MESQUITA e CASTRO, 2008).

Contudo, os sistemas ERP possuem limitações. Eles são complexos, e a implementação pode ser demorada, difícil e cara (PLENERT, 2007).

Outro aspecto que uma empresa deve considerar é o efeito que um ERP terá na sua atual estratégia, sistemas e processos. Um ERP tende a impor sua própria lógica sobre a estratégia, a organização e a cultura da empresa. Ele leva à integração plena e a processos generalizados, quando a segregação parcial ou processo pouco personalizado pode ser a melhor estratégia (SAWHNEY et al., 2007).

2.8.5 Funcionalidade MES, capacidades e limitações

Outro software muitas vezes utilizado em conjunto com um ERP é o *Manufacturing Execution System* (MES). Os sistemas atuais MES geralmente contêm pelo menos um dos 11 módulos apresentados na Tabela 3, conforme definido pelo *Manufacturing Execution Systems Association* (MESA).

Para um MES ser eficaz, porém, deve ser instalado geralmente em conjunto com um ERP ou outro sistema de informação de fabricação. Na verdade, a maioria das funcionalidades MES é derivada de uma espinha dorsal de dados subjacentes. (LAMPARTER et al., 2011).

Quadro 4 – 11 funcionalidade MES definido pela MESA

Funcionalidades do MES	
Alocação de Recursos e Estado	Gerencia os recursos, incluindo máquinas, ferramentas, habilidades de trabalho, documentos e outros materiais.
Operação / Programação detalhada	Sequências e atividades as vezes para o desempenho da planta otimizada com base em capacidades de recursos finita e atributos das unidades de produção específicas.
Unidade de despacho de produção	Gerencia o fluxo de unidades de produção na forma de empregos, pedidos, lotes e ordens de serviço, dando comandos enviar materiais ou ordens para as partes da planta para começar um processo ou etapa.
Controle de documentos	Gerencia e distribui registros ou formulários em produtos, processos, projetos ou ordens.
Coleta de dados	Monitora, reúne e organiza dados sobre os processos, materiais e operações de pessoas, máquinas ou controles.
Gestão do trabalho	Monitora o status de pessoal de operações com base nas qualificações, padrões de trabalho e necessidades de negócio.
Gestão de qualidade	Registra e analisa o desempenho dos parâmetros do produto com as especificações de engenharia.
Gestão de processos	Direciona o fluxo de trabalho na planta com base em atividades de produção previstas e reais.
Gestão de manutenção	Coordena as atividades que permitem que equipamentos da fábrica funcione continuamente.
Rastreamento do produto e genealogia	Monitora o progresso de unidades e lotes de produção para criar uma história completa do produto.
Análise de desempenho	Avalia o desempenho real da planta em relação às metas e desempenho histórico.

Fonte: MESA internacional, 2011

2.9 Sistemas de Manufatura Discreta versus Contínua

Sistemas de produção são classificados em duas grandes classes: manufatura discreta e fabricação contínua (também referida como a indústria de processo).

Manufatura discreta refere-se à fabricação de produtos discretos como um motor, um automóvel, um eixo de acionamento, ou uma máquina de lavar. Por outro lado, a fabricação contínua inclui produtos que são medidos, ao invés de serem contados. Exemplos incluem o aço, tinta, têxtil, vidro plano, resina, óleo e farinha (NEEDY, NORMAN e BIDANDA, 2001).

Na fabricação, existem três diferentes classificações gerais, em termos de plantas de produção: *job-shop*⁹ de produção, produção de lotes e produção em massa. O sistema de produção *job-shop*, também conhecido como produção intermitente, é

⁹ Job-shop - fábrica que produz vários produtos diferentes em lotes menores.

caracterizada por baixo volume e alta variedade de produtos. *Job-shops* consistem em dois *layouts* de produção diferentes. O primeiro é um tipo de *layout de processo*, no qual os recursos, incluindo máquinas e seres humanos, são organizados por funções. Uma oficina consiste no conjunto de máquinas e operadores que são especialistas nestes tipos de equipamentos em particular. Por exemplo, um departamento pode ser constituído apenas de tornos e fresadoras. Semiacabados movem-se em lotes de um departamento para outro e a saída do produto final é produzida em pequenos lotes. (NEEDY, NORMAN e BIDANDA, 2001).

Este tipo de *layout* requer máquinas altamente flexíveis e de uso geral, de modo a lidar com a variedade dos trabalhos envolvidos. Exemplos incluem a criação de protótipos de novos produtos, ferramentas, veículos espaciais, ou máquinas-ferramentas (TOMELINA e COLMENEROB, 2010).

O segundo tipo é um *layout* do tipo local fixo, no qual o produto permanece fixo e todos os materiais estacionários (equipamentos, mão de obra, instruções, etc) são levados ao local de trabalho. O recurso de trabalho pode incluir um trabalhador individual ou pode envolver trabalho em grupo. *Layouts* do tipo posição fixa são geralmente característicos da produção em lote. Eles oferecem uma série de vantagens, sendo que a mais importante é a flexibilidade do produto. Isto é conseguido porque as máquinas e equipamentos utilizados em *layouts* de posição fixa são em sua maioria de uso geral, os trabalhadores geralmente são polivalentes, e vários produtos diferentes (ou serviços) podem ser produzidos simultaneamente e em paralelo. (TOMELINA e COLMENEROB, 2010).

O terceiro tipo de sistema de produção é o de produção em massa, caracterizada por baixa variedade de produtos e alto volume de produção. Ela exige máquinas caras para satisfazer a alta demanda por um produto. A produção em grande quantidade e o fluxo de produção podem ainda distinguir a produção em massa. Exemplos de produtos de produção em quantidade incluem parafusos, pregos, produtos de plástico moldados (TOMELINA e COLMENEROB, 2010).

Para atingir e manter um eficiente fluxo contínuo, as peças devem ser transferidas de uma etapa para outra de forma sincronizada. Para facilitar e auxiliar nesse objetivo, o processo é dividido em células. De acordo com Rother e Harris (2002), “uma célula é um arranjo de pessoas, máquinas, materiais e métodos com os passos do processo colocados bem próximos uns dos outros, em ordem sequencial, pelo qual as peças são processadas em fluxo contínuo”.

O *layout* celular ajuda a alcançar muitos dos objetivos da manufatura enxuta devido à sua capacidade de ajudar a eliminar atividades que não geram valor ao processo de produção, tais como tempos de espera, gargalos de transporte, etc.

Geralmente um *layout* celular permite aos trabalhadores mudar facilmente de um processo para outro, devido à proximidade das máquinas e a possibilidade de passar as peças entre as células com pouco esforço. As células geralmente se concentram na produção de modelos específicos em famílias de peças, mas podem ser ajustados para diversos produtos, conforme a necessidade. As células não precisam estar em uma configuração em forma de U que é habitualmente utilizado, devido à maximização do rendimento da fabricação com uso mínimo de espaço. Existem células em várias configurações diferentes que se assemelham a letras como T, W, X, V.

O *layout* final da célula é determinado pelas necessidades do produto. No nível seguinte, o *layout* da célula de trabalho é determinado pelos tempos de ciclo de máquina e tempo *takt*. Outras questões, ao criar células, incluem redundância de equipamentos, o tamanho dos equipamentos necessários e a mobilidade/flexibilidade da célula para acomodar múltiplos produtos.

Os principais determinantes do processo ideal são a variedade de produtos e o volume. O montante de capital que a empresa está disposta ou é capaz de investir também pode ser um importante determinante (VANPOUCKE, BOYER e VEREECKE, 2009). A Figura 4 mostra as categorias de ambientes de produção em função do volume e da variedade de produtos.

O processo ideal depende também da economia local. O custo do trabalho, equipamentos, energia, transporte podem impactar o processo de seleção (VANPOUCKE, BOYER e VEREECKE, 2009).

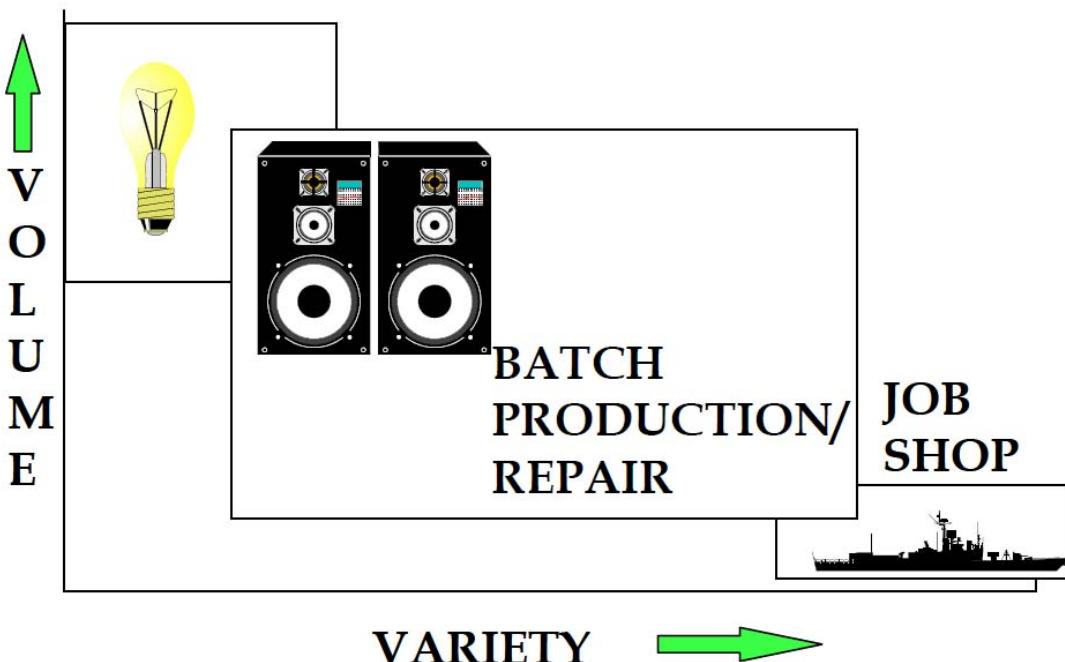


Figura 4 - Categorias do ambiente de produção.
Fonte: Bidanda e Billo, 1997.

2.9.1 Aplicação do *Lean* na Indústria Discreta

O sucesso da Toyota na implementação de um sistema de manufatura enxuta tem levado muitas indústrias automotivas do mundo a tentar implementar este novo conceito em suas próprias empresas. A maioria das ideias da manufatura enxuta foram aplicadas no processo de montagem de componentes, especialmente em fabricação discreta.

Na indústria automotiva, a maior parte do trabalho envolvido em fazer um carro é realizada no processo de montagem. Isto é devido ao grande número de partes envolvidas na construção de um carro. Estas peças individuais são primeiramente montadas nas fábricas de componentes e, em seguida, a montagem final destas peças é feita na montadora (WOMACK, JONES e ROOS, 1990).

O sucesso do Sistema Toyota de Produção tem servido de exemplo para muitas empresas na indústria de manufatura discreta que pretendem tornarem-se enxutas, a fim de reduzir custos através da redução de desperdícios e melhoria contínua. O conceito de manufatura enxuta está sendo agora amplamente utilizado em operações de montagem de componentes em uma grande variedade de indústrias, por exemplo, automóveis, eletrônicos e câmeras (BERGMILLER e MCWRIGHT, 2009).

Nos USA, muitas outras empresas, em particular na indústria discreta, adaptaram ferramentas e técnicas de *Lean Manufacturing*. Entre essas indústrias incluem-se construção naval, equipamento de telecomunicações, mobiliário de escritório, eletrodomésticos, informática e montagem. Outras áreas que tenham implementado manufatura enxuta, particularmente na Europa, incluem motocicletas e *scooters*, roupas, equipamentos de parque de diversões, a construção de bombas de vácuo, sistemas de ar condicionado para carros, bicicletas e componentes (ALUKAL, 2006).

Outra ferramenta de manufatura enxuta que tem sido amplamente utilizada na indústria discreta é o JIT. A indústria automotiva tem sido fortemente influenciada pelo conceito fundamental do JIT. A Toyota, por exemplo, liderou o caminho na utilização de princípios JIT, onde o JIT tem sido utilizado pelos seus fornecedores. Nos anos cinquenta do século XX, os estaleiros japoneses já haviam implementado entregas JIT para o aço fornecido pelas siderúrgicas (WOMACK, JONES e ROOS, 1990).

Jones e Womack (2004), Bergmiller e Mcwright (2009) afirmam que as práticas JIT têm sido implementadas em indústrias como a elétrica/eletrônica, equipamentos de transporte, componentes e máquinas.

2.10 MFV: Uma ferramenta do *Lean Manufacturing*.

O MFV é uma das muitas ferramentas, métodos de trabalho e conceitos do ambiente da manufatura enxuta (LIKER 2004 e BICHENO 2004). Mapeamento do fluxo de valor é uma ferramenta de melhoria que tem sido utilizada como parte integrante das transformações de manufatura enxuta para produzir grandes melhorias no *lead-time* de fabricação. Mapeamento de fluxo de valor, uma ferramenta de produção enxuta que se originou a partir do Toyota Production System (TPS), é conhecido como "material e mapeamento de fluxo de informações." Esta ferramenta de mapeamento utiliza as técnicas de manufatura enxuta para analisar e avaliar determinados processos de trabalho em uma operação de fabricação (MOORE, 2006).

Segundo Rother e Shook (1999) o MFV enfoca também o fluxo de materiais, o fluxo de informação e todo o fluxo de produção de um produto ou família de produtos, visando à implantação da manufatura enxuta.

O MFV pode ser e é usado em todos os tipos diferentes de produção, podendo ser facilmente aprendido e utilizado por quase todas as empresas. Em um MFV, uma equipe percorre o sistema de produção levantando dados, tais como os tempos de

ciclo, o tamanho do *buffer* e as necessidades de pessoal. Esses dados são então transformados em um mapa que descreve o sistema com ícones padronizados. Quando um mapa da situação atual está pronto, outro mapa descrevendo o estado futuro é desenvolvido. Este estado futuro é usado como base para as atividades de melhoria, priorizando eventos chamados de kaizen.

Taiichi Ohno (1988), Womack et al (1990), Womack e Jones (1998, 2005), Daniel. T. Jones (2006) Rother e Shook (1999), estudaram a implementação de Mapeamento do Fluxo de Valor de forma eficaz.

Na essência, MFV é uma ferramenta de visualização orientada pela versão do sistema Toyota de produção. O MFV ajuda a compreender e racionalizar os processos utilizando as ferramentas e técnicas da manufatura enxuta (SALGADO et al, 2009).

O MFV pode servir de ponto de partida para ajudar as pessoas envolvidas com a produção, no sentido de identificarem problemas de qualquer natureza que estejam prejudicando a evolução eficaz da produção. Como resultado, o MFV é basicamente uma ferramenta de comunicação, mas também é usado como ferramenta de gestão de mudanças (ARAUJO e RENTES, 2006).

O MFV busca mapear todo o fluxo de valor, identificando quais atividades que agregam valor e criam um fluxo contínuo e a partir daí, buscar a melhoria continua em um trabalho que conta com a interação de todos os colaboradores da empresa (SALGADO et al, 2009).

Segundo Machado (2006), o conhecimento do *Just in time* contribui para o enriquecimento da análise do mapeamento do fluxo de valor e caracterização de processos.

A observação do processo deve ser feita a partir do ponto de vista do cliente sobre quais atividades agregam valor ao processo, quais não agregam (mas que são necessárias) e as atividades desnecessárias, que não agregam valor. A representação de atividades de um processo são fluxogramas¹⁰, mapofluxogramas¹¹ e o mapeamento de fluxo de valor.

Apesar das diversas aplicações que foram desenvolvidas nos últimos anos, as origens do MFV concentram-se essencialmente na análise e melhoria de ambientes de produção com linhas de fluxo. (ROTHER e SHOOK, 1999).

¹⁰ Fluxograma é uma representação gráfica ou simbólica de um processo. Cada etapa do processo é representada por um símbolo diferente e contém uma breve descrição da etapa do processo.

¹¹ Mapofluxograma é a técnica na qual se desenham as linhas de fluxo em uma planta de edifício ou da área em que a atividade se desenvolve.

O MFV é uma ferramenta valiosa para a análise de fluxos de valor e os pontos fortes mais evidentes são:

- Rápido e fácil de realizar.
- Barato, já que nenhuma ferramenta especial ou programas de computador são necessários. Horas-homem são gastas apenas durante o trabalho inicial.
- Simples - Fácil de aprender e compreender.
- As ferramentas necessárias são papel e caneta
- Dá uma boa base para discussões e decisões.
- Aumenta o entendimento para o produto, o fluxo de informações e os prejuízos.
- Pode ser realizado por pessoas diretamente envolvidas no sistema com a ajuda de uma pessoa experiente no MFV (ROTHER e SHOOK, 1999).

No Quadro 5 estão alguns dos símbolos comumente usados para criar mapas de processos. A descrição do que cada símbolo representa não é definitiva. Os símbolos podem ser usados para representar outras ações, desde que a definição seja normalmente entendida e consistente.

Quadro 5 Símbolos usados no mapeamento de fluxo de valor

Símbolo	Nome	Descrição
	Processo	Representa um processo ou operação através da qual o material flui. Geralmente, as etapas do processo detalhadas não são mostradas a menos que haja estoque significativo .
	Fontes Externas	Representa o fornecedor ou o cliente. O fornecedor é o ponto de partida e é geralmente colocado na parte superior esquerda do mapa. O cliente é o ponto final e geralmente é colocado na parte superior direita
	Entrega	Representa o transporte de materiais a partir de uma fonte externa ou produtos acabados para os clientes.
	Caixa de Dados	Este símbolo é colocado sob qualquer outro símbolo para exibir informações críticas Normalmente, ele exibe informações relevantes sob o símbolo de fontes externas como frequência de envio, tempo de ciclo, mudar ao longo do tempo de atividade, tempo, tempo de processamento, capacidade disponível, tamanho do lote de produção, etc
	Inventário	Representa o nível de estoque antes de um processo. O nível de estoque é exibido abaixo do símbolo.
	Operador	Representa operador (es). O número de operadores disponíveis é mostrado abaixo do símbolo.
	Seta de Empurrar	Representa o movimento de materiais de um processo para outro. É usado quando o processo anterior 'empurra' os materiais para o

		próximo processo, independentemente de saber se é necessária para o processo seguinte
	Seta de Produtos Acabados	Representa o movimento de produtos acabados para o cliente. Também pode ser usado para representar o movimento de matérias-primas do fornecedor até a fábrica.
	Fluxo de informações eletrônicas	Representa um fluxo de dados eletrônicos ou informações.
	Fluxo de informações manual	Representa o fluxo geral de informações.
	Retirada	Representa a retirada de material, geralmente a partir do supermercado.
	FIFO	Representa primeiro que entra é o primeiro que sai do estoque.
	Retirada Kanban	Usado para sinalizar a retirada de partes de um supermercado.
	Produção Kanban	Usado para sinalizar um processo para produzir peças para um processo seguinte, geralmente uma quantidade pré-definida.
	Kanban em Lotes	Representa Kanbans chegando em lotes.
	Mensagem de Kanban	Representa um local onde são colocados Kanbans.
	Sinal Kanban	Usado para sinalizar um processo de mudança ao começar a produção de uma peça particular. Isto é tipicamente usado quando o nível de estoque no supermercado cai abaixo do nível mínimo.
	Sequencia de puxar	Representa um sistema de tração com os sinais de um processo de fornecimento para produzir um tipo pré-determinado e quantidades de parte, sem o uso de um supermercado.
	Supermercado	Representa um estoque de inventário, onde o próximo processo ou cliente pode recorrer quando necessário. O processo seguinte vai reconstituir o estoque baixo quando ele é executado. Ele é usado para reduzir o nível de estoque global e quando um fluxo contínuo não é possível.
	Estoque de segurança	Representa estoque de segurança necessário para continuar a produção contra problemas como tempo de inatividade ou flutuações na demanda.
	Nivelamento de carga	Usado para lotes Kanbans para nivelar o volume de produção ao longo de um período de tempo.
	Programação	Representa uma operação de programação de produção ou unidade.
	inspeção	Representa uma inspeção visual ou coleta de informações.

	Kaizen	Usado para destacar áreas que a melhoria é necessária e Eventos Kaizen com planos para as melhorias.
	Linha do tempo	Representa uma linha do tempo onde as atividades são consideradas de valor acrescentado.

Fonte : Adaptado de processma, 2011.

Para elaboração do mapeamento de fluxo de valor é necessário fazer a seleção de uma família de produtos, pois seria muito demorado e oneroso mapear todos os produtos ao mesmo tempo (ARAUJO e RENTES, 2006).

A análise da situação inicial baseia-se na aquisição e tratamento de dados numéricos e usa uma interface gráfica onde é fácil ver a relação entre o material e os fluxos de informação. Um mapa do estado atual é um instantâneo de como um processo é feito atualmente. Pode ser um fluxograma de processo do estado atual ou mapa de fluxo de valor de um estado atual (MFVA), mas o princípio é o mesmo: Escrever o plano de trabalho, com todas as etapas divididas (ARAUJO, 2004).

A taxa de produção deve ser imposta pela demanda do produto. O tempo *takt* reflete essa taxa, sempre que for possível estabelecer um fluxo contínuo. Somente um processo, chamado processo marca-passo, deve comandar a produção das diferentes partes. Este processo irá marcar o ritmo para o fluxo de valor. Após este ponto, os elementos fluem em um sistema *First in First out*¹² (FIFO). Na sequência, a montante, a produção será desencadeada por sinais de puxar do marca-passo, o agendamento do processo irá lidar com a maximização da produção e nivelamento no mix e volume (RAMESH et al, 2008).

Segundo Rother e Shook (1999) as principais características desta técnica estão completamente de acordo com a ferramenta de redesenho do MFV.

O fornecimento de uma linguagem comum para a equipe e a unificação dos conceitos da manufatura enxuta proporcionam uma visão sistêmica prevista para cada fluxo de família de produtos que mostra as ineficiências do sistema de produção.

¹² *First-in first-out* (FIFO) - Método de avaliação de estoques baseada na suposição de que os bens são vendidos ou utilizados na mesma ordem cronológica em que eles são comprados. Assim, o custo dos bens adquiridos primeiro (*first-in*) é o custo das mercadorias vendidas primeiro (*first-out*).

2.10.1 Etapas do MFV.

Esta ferramenta é usada principalmente para identificar, demonstrar e diminuir o desperdício, bem como criar fluxo no processo de fabricação. MFV's podem ser criados usando apenas papel e lápis, no entanto, os mapas mais avançados são criados usando o Microsoft Visio, bem como Microsoft Excel.

O MFV pode ser dividido em 5 (cinco) etapas, das quais quatro podem ser vistas na Figura 5.



Figura 5 – Etapas iniciais do MFV

Fonte: Rother e Shook, 1999.

A criação de um MFV é dividida em cinco etapas básicas (ROTHER e SHOOK, 1999):

- 1) Identificar o produto.
- 2) Criar um MFV atual.
- 3) Avaliar o mapa atual, identificar as áreas problemáticas.
- 4) Criar um MFV futuro Estado.
- 5) Implementar o plano final.

O primeiro passo, identificar o produto, consiste na escolha de qual produto específico o MFV irá focar. Depois que o produto a ser usado foi escolhido, um MFV inicial do processo atual é criado. Após a conclusão do mapa atual, a equipe avalia o processo e as etapas envolvidas. Todas essas informações são então compiladas num mapa e a análise é realizada. Em um MFV típico cada passo do processo está incluído. Para cada etapa, os parâmetros podem incluir o tempo de ciclo, o tempo *takt*, o trabalho em andamento (WIP), definição do tempo, o número de trabalhadores e a taxa de sucata aceitável. O MFV identificará onde o valor é adicionado no processo de fabricação. Mostrará também todas as outras etapas nas quais não há valor acrescentado. Depois de

ter alterado o processo atual para minimizar áreas com problema, é possível criar um MFV do estado futuro. O último passo do processo de mapeamento de fluxo de valor é a implementação.

O objetivo do MFV é mostrar uma imagem estática de todas as informações, em uma tentativa de entender como todos os seus elementos afetam uns aos outros dentro da organização. O MFV não leva em conta os efeitos comportamentais da dinâmica do sistema, mas simplifica-o em seus componentes básicos. Os componentes básicos incluem fornecedores de materiais, operações, recursos, etc. (SALGADO et al., 2009).

Como primeiro passo, é formada uma equipe especial com conhecimentos específicos para gerenciar o processo MFV, composta por gerentes e engenheiros que ajudarão a implementar a fase inicial. (ROTHER e SHOOK, 1999).

O gerente de fluxo de valor seria responsável pela família de produtos nos quais o processo MFV será realizado. É a pessoa que deve informar sobre o desenvolvimento do processo MFV para a gerência geral da empresa.

A facilitadora será a pessoa que conhece o processo de produção e será a responsável pelo fornecimento dos dados necessários.

Com a eliminação dos desperdícios, assume-se que a produção tende a aumentar e a qualidade do produto será melhor para o cliente. Cada um destes desperdícios é mostrado como processos que não agregam valor às atividades em um MFV. Através do processo de criação de um estado atual do MFV e de sua conversão em um MFV no estado futuro a empresa é capaz de eliminar ou diminuir os efeitos destes desperdícios (ARAUJO e RENTES, 2006).

O mapeamento não pode ser delegado, pois é uma responsabilidade da alta administração, com seu envolvimento direto, ou seja, o gerente deve caminhar pessoalmente pelo setor a ser mapeado e participar explicitamente. Com isso, poderá conhecer a situação atual e, assim, dar sugestões, orientar e tomar parte da realização do estado futuro (GILL, 2008).

2.11 Recomendações para a implantação do mapeamento

Implementar manufatura enxuta é uma decisão difícil, especialmente para empresas que dependem de sistemas de manufatura tradicionais. É difícil por causa das diferenças entre o sistema tradicional e sistema de manufatura enxuta em uma série de

aspectos, incluindo aquisições de matéria-prima, gestão de inventário, gestão de funcionários e controle de produção.

Para fabricantes tradicionais, a dificuldade de implementar o *Lean* surge devido aos seus requisitos, que tornam difícil prever a magnitude dos ganhos que podem ser alcançados pela sua implementação. Como resultado, a decisão sobre implementação ou não do *Lean* muitas vezes se resume à própria crença na manufatura enxuta. Para muitas empresas, isso é pouca justificativa para fazê-las implementarem o *Lean* (SALGADO et al., 2009).

Isto nos leva à pergunta sobre como fazer do mapeamento do fluxo de valor uma ferramenta mais viável.

Podem ser relacionadas várias barreiras que dificultam a implantação do MFV. O comportamento das pessoas, envolvendo as mudanças pode ser dividido em três grupos: (BOYER e SOVILLA, 2003).

- Cerca de 90-92% das pessoas de dentro da organização aceitam a necessidade de mudanças e estariam dispostos a realizar essas mudanças, mas precisariam de forte liderança.
- De 3 a 5% dos empregados não só aceitam as mudanças, mas poderiam potencialmente ser fortes defensores das mudanças.
- O restante do grupo, com cerca de 5%, seria completamente contrário às mudanças.

Sete regras para mudança de cultura na empresa foram definidas da seguinte forma segundo Boyer e Sovilla (2003):

- As pessoas aceitam mudanças, desde que atendam também alguns de seus interesses, conforme as circunstâncias.
- As pessoas não são inherentemente contra as mudanças. A maioria vai abraçar as iniciativas, desde que as mudanças tenham significado positivo para elas.
- Pessoas prosperam mais sob desafio criativo que sob estresse negativo.
- As pessoas são diferentes. Nenhuma solução elegante irá abordar toda a amplitude dessas diferenças.
- As pessoas acreditam no que vêm. Ações falam mais alto do que palavras e uma história de decepção anterior multiplica a suspeita presente.
- Uma maneira de gerir mudanças eficazes, a longo prazo, é visualizar o que se quer realizar e depois por em prática esta visão, até que se torne verdade.

- Mudar é um ato de imaginação. Até a imaginação estar envolvida, nenhuma mudança importante pode ocorrer.

Não se deve mapear todos os fluxos de valor de uma organização. O mapeamento deve ser implementado onde acarretará benefícios para a organização.

Para que não haja a ocorrência de um mapeamento desordenado, Gill (2008) sugere:

- Focalizar os esforços nos fluxos de valor que exigem melhoria substancial;
- Entender nitidamente a situação atual;
- Deliberar metas de melhorias para as famílias de produtos escolhidas;
- Definir e buscar um consenso sobre a situação futura e, após, implementar o estado futuro.
- Reiniciar o mapeamento, porque depois de implementadas, as modificações tornam-se estado atual.

Como Boyer e Sovilla (2003) dizem na quinta regra estabelecida, "as pessoas acreditam no que vêem". Mapeamento de fluxo de valor e simulação são ferramentas que os líderes podem usar para mostrar os resultados reais das mudanças *Lean*. "A verdadeira liderança será definida pela clareza de propósito da administração, mesmo em tempos de medo e ameaças da concorrência".

As implementações de manufatura enxuta levam tempo: é necessário pensar muito, pesquisa e análise aprofundada do sistema atual antes de qualquer implementação ser feita. Muitas vezes os indivíduos olham para uma rápida correção ou perdem tempo "apagando incêndios", em vez de fazer o trabalho que é necessário. Estas soluções rápidas são atraentes, mas não levam em conta as questões reais que estão à mão.

A integração do MFV com a simulação para o desenvolvimento dos mapas possibilita experimentar as mudanças com baixo custo, contribuindo para a tomada de decisão (LASA, LABURU e VILA, 2008).

2.12 Simulação

Segundo Braghirrolli (2009), simulação de sistemas é o processo de se construir um modelo lógico-matemático de um sistema real e experimentá-lo, normalmente com auxílio de um computador.

Simulação em computador atualmente é utilizada para várias aplicações. Ela já está em uso comum em uma ampla gama de áreas incluindo a logística, *games*, militar e de fabricação. Simulação é uma tecnologia emergente e uma ferramenta em crescimento também na área de Engenharia. Simulação é definida como um modelo que imita uma atividade real (RAJAKUMAR, ARUNACHALAN e SELLADURAI, 2005, MONCH, 2007).

O ponto chave de todas as definições de simulação é que um sistema é imitado para gerar um melhor entendimento do mesmo e para encontrar respostas a perguntas sobre o assunto (PINTO e PINTO, 2005, LE, DO e NAM, 2010).

A variante de simulação utilizada nesta pesquisa é de Simulação de Eventos Discretos (DES), que lida com o fluxo de peças em um sistema.

A simulação discreta permite ver e medir a forma como os processos se realizam ao longo do tempo, incluindo informações de fluxos financeiros e de materiais. Um programa de simulação discreta utiliza todos os atributos do processo de produção, como uma ordem de produção ou ordem do cliente (PINTO e PINTO, 2005).

2.13 Simulação como parte do MFV

Há situações em que o mapa do estado futuro pode ser avaliado sem muita dificuldade e situações em que isso pode não ser tão fácil. Por exemplo, a previsão dos níveis de inventário por meio o processo de produção não é possível com apenas um mapa do estado futuro, porque com um modelo estático não se pode observar como o nível de estoque será afetado para diferentes cenários de produção, com diferentes parâmetros. (MCDONALD, AKEN e RENTES, 2002, MÖNCH, 2007).

A fim de ajudar uma organização a considerar técnicas enxutas, uma ferramenta complementar para mapeamento do fluxo de valor é necessária para poder quantificar os ganhos durante o planejamento inicial e etapas de avaliação. Esta ferramenta é a simulação, que é capaz de gerar necessidades de recursos e estatísticas de desempenho, mantendo-se flexível para os detalhes da organização (DONATELLI e HARRIS, 2004).

Simulação pode ser usada para reduzir a incerteza e criar exibições dinâmicas da situação futura dos níveis de inventário, *lead-times* e utilização das máquinas de um processo. Isso permite a quantificação do retorno do uso do MFV e seu impacto sobre o sistema total. Além disso, a simulação pode ser usada para explorar o estado futuro alternativo, gerando mapas para diferentes cenários (SOLDING e GULLANDER, 2009).

Duas maneiras de simulação são mostradas (WHITMAN, UNDERDOWN e DEESE, 2001):

- As simulações físicas: apresentam um jogo de simulação física, onde participantes operaram estações de trabalho ao longo da linha de montagem, em uma fábrica de aviões. Através de uma série de quatro cenários (Mapas da cadeia de fornecimento diferentes), os participantes do encontro avaliam fornecedores, nível de serviço, problemas de controle de qualidade e assim por diante. Como resultado da participação nesse jogo, as pessoas implementam o MFV e aprendem sobre os conceitos *Lean*, tais como células de fabricação, sistema de tração, um pedaço de fluxo, etc.
- As simulações computacionais: os modelos são construídos usando o software de computador e aplicados em casos do mundo real. As simulações são usadas para modelar processos de fabricação para uma família de produtos essenciais e validar o mapa do estado atual, bem como avaliar cenários alternativos de mapas de estado futuro.

Há duas razões principais para o uso de modelos de simulação:

- Simulação como ferramenta de uma economia de custos - a utilização de um modelo de simulação pode ajudar os gestores a ver os efeitos antes de uma grande aplicação: o impacto de alterações no layout, a realocação de recursos, etc., sobre o desempenho dos indicadores antes e depois da transformação enxuta, sem grandes investimentos (LIAN e VAN LANDEGHEM, 2007).
- Simulação como ferramenta de treinamento - na maioria das empresas, especialmente quando são pequenas, novos conceitos são difíceis de implementar. A simulação tem provado ser uma poderosa e reveladora ferramenta no auxílio à tomada de decisão (WHITMAN, UNDERDOWN e DEESE, 2001).

Algumas diferenças importantes entre MFV e Simulação podem ser vistas na Figura 6.

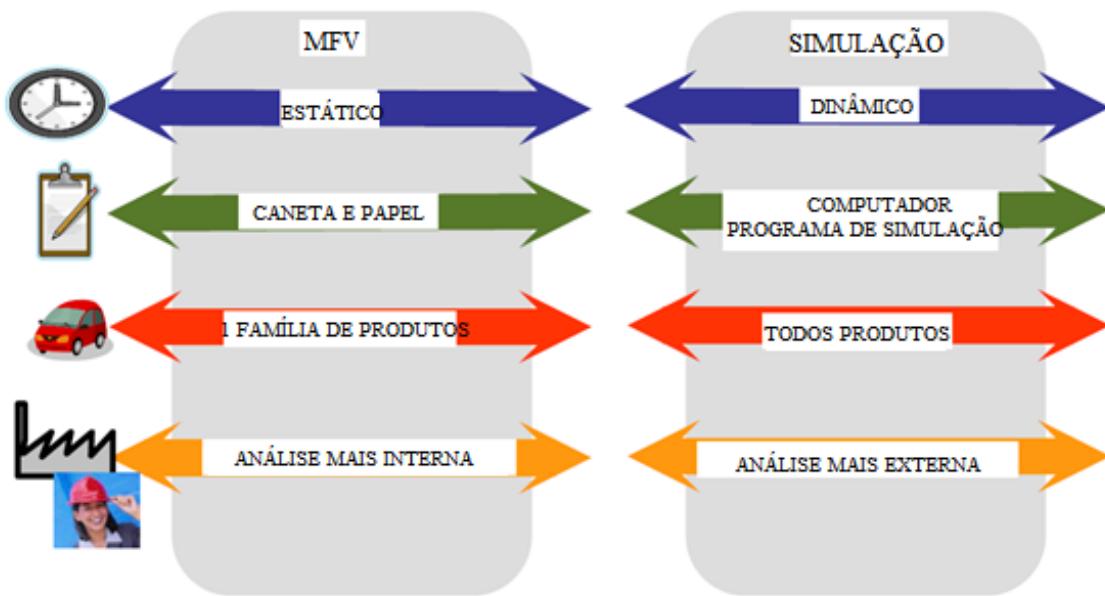


Figura 6 - Diferenças entre MFV e Simulação

Fonte: Adaptado de Solding e Gullander, 2009.

A simulação é adaptável para as circunstâncias específicas da organização e é capaz de gerar os recursos necessários e estatísticas de desempenho para os mapas do estado futuro e da operação existente. As informações fornecidas pela simulação permitem que a gestão da empresa avalie o desempenho do sistema enxuto em termos absolutos. (MANZINI, 2006).

A simulação pode quantificar as melhorias de desempenho que podem ser antecipadas, a partir da aplicação dos princípios de manufatura enxuta de fluxo contínuo, *just-in-time* de inventário, manutenção preventiva total, redução de *setup*, e programação de produção nivelada (MOHAMED et al, 2011).

Solding e Gullander (2009), Anand e Kodali (2009), Kurkin e Šimon (2011) e muitos outros pesquisadores têm utilizado a simulação de eventos discretos em um ambiente de manufatura enxuta.

Além disso, Yang-hua e Van Landeghem (2002) usaram simulações para validar as modificações em um sistema tradicional quando ele estava sendo convertido em um sistema JIT.

No entanto, a literatura tem poucos artigos sobre o uso de simulação para complementar mapeamento do fluxo de valor. McDonald, Van Aken, e Rentes (2002)

utilizaram simulação para um sistema de controle de movimento de alto desempenho para fabricação de produtos e demonstraram que a simulação pode ser uma ferramenta importante na avaliação de diferentes mapas de estado futuro. Eles demonstraram que a simulação pode fornecer e analisar cenários diferentes para complementar aqueles obtidos a partir de mapeamento do estado futuro.

O processo de simulação é um processo aparentemente complicado, que leva em conta não só o movimento físico de objetos e materiais, mas também os aspectos não comumente observados em um processo de fluxo. Uma característica da simulação é sua possibilidade de uso em praticamente qualquer aplicação operacional. Outras aplicações para a simulação podem ser vistas em prestadores de serviços e pequenas empresas e não apenas para fins de fabricação (CURRY, 2007).

Segundo Anand e Kodali (2009), áreas como gestão da informação, comunicação, treinamento e até mesmo relações públicas podem se beneficiar com o que a simulação tem para oferecer. Empresas que percebem isso e alinhram esta tecnologia aos talentos de sua força de trabalho têm muito a ganhar.

O primeiro passo para a construção de modelos de simulação é garantir que o sistema reflita as operações do sistema real. Antes, o problema precisa ser definido. Para definir o problema é necessária uma pesquisa em profundidade de todos os elementos no sistema. Muitas vezes um método científico é implementado nesta parte do processo. Depois de todas as estatísticas de base e de informação o modelo pode ser construído (OLIVEIRA, 2008).

A complexidade do modelo determina o quão difícil é simular e medir qual o grau de dificuldade envolvido na sua solução. É necessário considerar (SOLDING e GULLANDER, 2009):

- a) A "ordem" do modelo, ou seja, o número de funções independentes necessárias para descrever o processo;
- b) O número de parâmetros envolvidos no modelo;
- c) O número de variáveis independentes a serem incluídas no modelo. No modelo mais simples, mais fácil um problema é resolvido analiticamente ou numericamente. No modelo mais complicado, é menos provável que uma solução simples possa ser encontrada.

O presente estudo pretende ajudar a determinar a complexidade envolvida na criação de um modelo de simulação baseada em informações fornecidas por um MFV.

Um MFV tem informações suficientes para criar um modelo de simulação de um sistema.

Lian e Van Landeghem (2007) declararam: "Você não pode usar uma ferramenta estática para estudar um problema dinâmico. Uma ferramenta estática dá uma visão otimista de avaliação de desempenho. Quanto maior a variabilidade no sistema, maior a possibilidade de erro da forma de análise estática".

Apesar de ser uma imagem estática de uma operação, o MFV contém a maioria das informações dinâmicas que uma simulação exigiria. Esta investigação vai determinar se as informações fornecidas serão suficientes para criar um modelo de simulação. Também a partir desta pesquisa será possível determinar se há ou não diferença significativa entre a simulação e o MFV tradicional, em termos de economia de tempo e desempenho (KURKIN e ŠIMON, 2011).

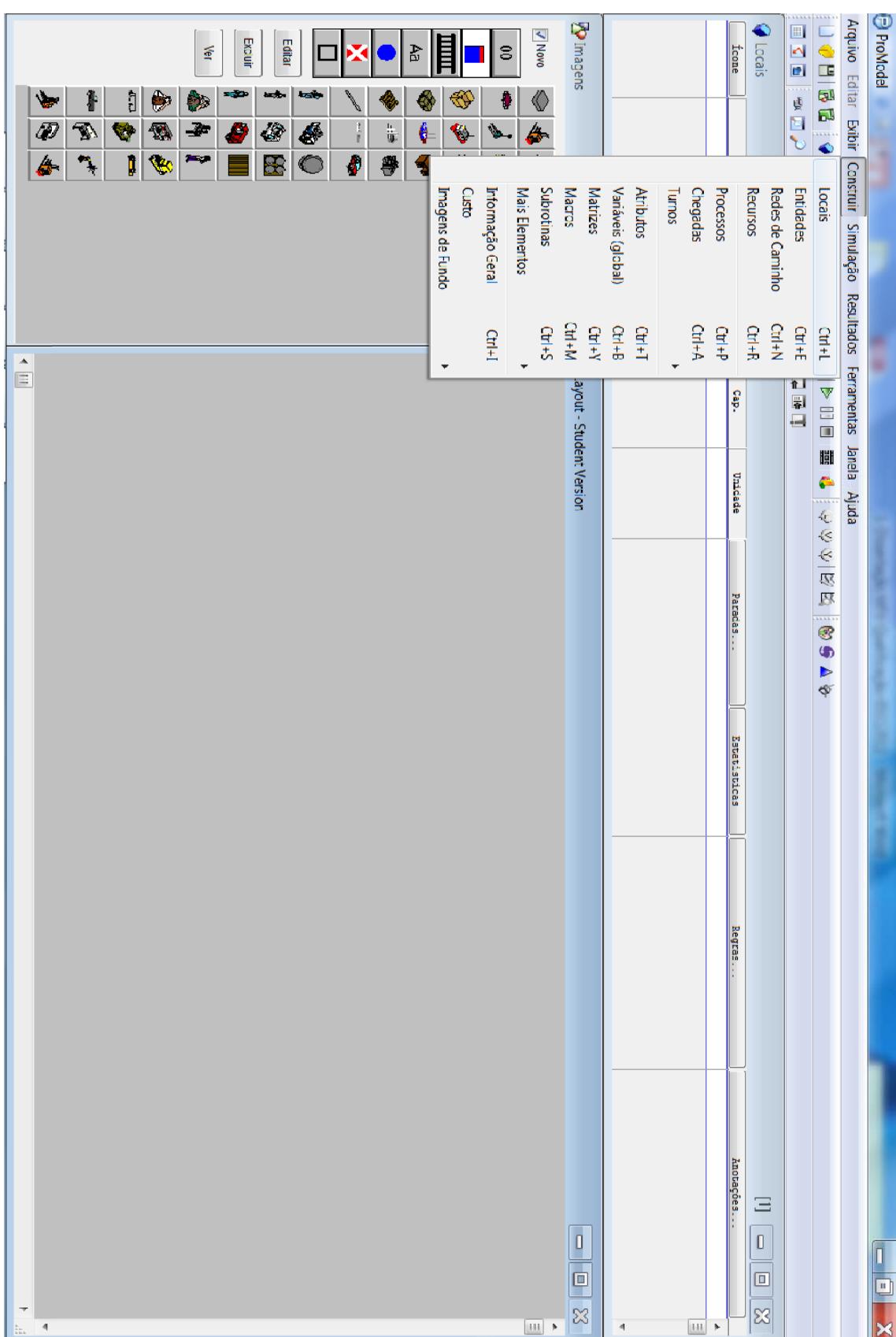
Para resolver estes problemas, preservando simultaneamente o intuitivo conjunto de símbolos do MFV, foi proposta a utilização da simulação como uma ferramenta de documentação e de implementação (HARRELL et al, 2004).

2.14 Usando o software de simulação ProModel®

Para auxiliar o processo de decisão no mundo empresarial de hoje, as empresas usam cada vez mais softwares de simulação para prever possíveis estados futuros. Para este projeto, a equipe de implementação do MFV usou a versão 7.0 do software de simulação ProModel® para modelar e recriar certas partes do processo de fabricação.

A simulação de eventos discretos usando o ProModel® 7.0 permite interações com outras ferramentas computacionais, tais como Visual Basic, Excel, etc, sendo muito bem integrada ao ambiente Windows tornando o sistema mais amigável e simples de ser utilizado (HASAN e AL-HUSSEIN, 2010).

O software ProModel® 7.0 fornece os elementos de modelagem em blocos de construção para uma representação física e lógica dos componentes do sistema que está sendo modelado. Os elementos físicos do sistema, tais como peças, máquinas, ou recursos, podem ser referenciados graficamente ou por nome. A Figura 7 mostra a seleção destes elementos na janela do software ProModel® 7.0 e a seguir uma descrição das funções mais utilizadas.



capacidade superior a um local e pode ter paradas periódicas em função do tempo de produção (por exemplo, mudanças de turno), tempo de uso (por exemplo, desgaste de

ferramenta), freqüência de uso (por exemplo, alterar um dispensador após cada mudança de n^º de ciclos), etc. (ProModel[®], 2011).

No roteamento de locais podem ser atribuídas regras de entrada e de saída:

- Regras de entrada são usadas para selecionar o próximo processo da entidade;
- Regras de saída são usadas para o ranking de entidades (ex: FIFO, LIFO, definido pelo usuário) em um local multi-capacidade.

2.14.2 Entidades ou Partes

Entidades ou Partes são os itens a serem processados no sistema. Estas incluem matérias-primas, peças, montagens, cargas, WIP, produtos acabados, etc. As entidades podem ser do mesmo tipo ou de tipos diferentes, podem ser definidos atributos que podem ser testados na tomada de decisões ou para se recolher estatísticas. O gráfico de uma entidade pode ser mostrado como o resultado de uma operação, para mostrar a mudança física durante a animação (ProModel[®], 2011).

2.14.3 Redes de caminho

Redes de caminho são opcionais e definem os caminhos possíveis que as entidades e os recursos podem percorrer, quando se deslocam através do sistema. Redes de caminho consistem de nós conectados por segmentos de caminho e são definidos graficamente com cliques do mouse.

Podem ser definidas múltiplas redes de caminho para um ou mais recursos e/ou entidades, que também podem compartilhar a mesma rede (ProModel[®], 2011).

2.14.4 Recursos

Um recurso pode ser uma pessoa, ferramenta, veículo ou outro objeto que pode ser usado para:

- Transporte de material entre os locais de roteamento;
- Execução de uma operação no material em um local;
- Manutenção em um local.

Recursos podem ser estáticos ou atribuídos a um caminho de rede para o movimento dinâmico (ProModel[®], 2011).

2.14.5 Processos

Este elemento define a seqüência de processamento e a lógica do fluxo das entidades entre as localidades de roteamento, a operação ou os tempos de serviço em locais, as necessidades de recursos, o processamento lógico, entrada/saída de materiais etc. Os tempos de funcionamento podem ser definidos por constantes, distribuições, funções, atributos, sub-rotinas, etc ou uma expressão contendo qualquer destas combinações (ProModel[®], 2011).

2.14.6 Chegadas (ou cronograma de produção)

A chegada pode ser determinística, condicional ou estocástica. Arquivos externos, incluindo cronogramas de produção ou dados de chegadas, podem ser lidos no ProModel[®] 7.0 no elemento “Chegadas” ou o usuário pode definir as distribuições ou, ainda, os dados da planilha podem ser usados para definir os horários de chegada (ProModel[®], 2011).

2.14.7 Turnos (ou horários de trabalho)

Trabalho e horários são definidos graficamente por hora do dia e dia da semana. Recursos ou locais são, então, atribuídos a um cronograma específico.

Uma forte característica do software é a capacidade de definir trabalhos por encomenda e quebrar horários através do módulo de mudanças do ProModel[®] (ProModel[®], 2011).

3. METODOLOGIA

Segundo Marconi & Lakatos (2007), a pesquisa sempre parte de um tipo de problema, de uma interrogação. Desta forma, este trabalho procurou mostrar como a ferramenta MFV aliada à simulação realmente possibilita avaliar várias alternativas para o MFVF, representando uma valiosa estratégia para obter uma solução otimizada do

MFVF, pois permite a análise de muitos indicadores de produção e varias alternativas de fabricação.

A metodologia adotada para a elaboração deste trabalho inclui a escolha do tema e pesquisa dos itens que seriam abordados. Esta primeira etapa foi sintetizada na proposta de trabalho de dissertação.

Em seguida, realizou-se uma pesquisa bibliográfica para identificar o estado da arte, com consultas a livros, artigos, teses e a *internet*. Este estudo tem por objetivo conhecer as diferentes formas de contribuição científica para o tema proposto, com referências a autores que publicaram estudos sobre o assunto e áreas afins. Também foi efetuada uma pesquisa documental de normas, manuais, arquivos, o *site* e outros documentos da empresa, respeitando a manutenção das informações sigilosas.

O trabalho adota a estratégia de pesquisa denominada estudo de caso, que se faz pertinente na medida em que se trata de uma pesquisa aplicada, em que se pretende simular em tempo real a funcionalidade da proposição do objetivo de pesquisa e adaptar o uso de ferramentas genéricas para um caso específico.

O caso consiste geralmente no estudo aprofundado de uma unidade individual, tal como: uma pessoa, um grupo de pessoas, uma instituição, um evento cultural, etc. (YIN, 2005).

Para dar suporte e embasamento à pesquisa, foi realizada uma revisão da literatura que tinha como eixos centrais os estudos sobre a aplicabilidade dos princípios e filosofias *Lean*, ferramentas de análise de processos e de melhoria contínua.

Para a fase de revisão da literatura, a pesquisa exploratória iniciou-se com a busca por artigos e livros para a formação do referencial teórico, tendo como ponto de partida um *brainstorming* realizado com o professor orientador, para a seleção das palavras-chave de pesquisa.

Passada esta fase, foi desenvolvido o referencial teórico da pesquisa com a busca de artigos correlatos às palavras chave, em bibliotecas físicas, virtuais e através de contatos no meio acadêmico.

Paralelamente à revisão bibliográfica, realizou-se um estudo de caso para descrever o fluxo de valor das operações na empresa. A coleta de dados deu-se através de reuniões com os envolvidos, utilizando como instrumentos papel e caneta (este é um preceito da simplicidade e fácil acesso do método), o software *Visio* (para auxiliar a elaboração dos mapas) e o software *ProModel® 7.0*, para a simulação dos mapas. Por

fim, relataram-se os resultados obtidos e a análise da implementação da ferramenta na empresa.

Foi escolhido o método do estudo de caso como forma de pesquisa, porque é largamente utilizado no levantamento e aprofundamento de características de sistemas e processos e permite uma análise comparativa com outros casos. A análise dos dados não utilizou métodos estatísticos, visto se tratar de uma pesquisa qualitativa, com o intuito de interpretar os fenômenos observados no campo, no caso a descrição de uma realidade empresarial. Nesse tipo de pesquisa, a presença do pesquisador na fonte é de suma importância, porque ele é o elemento chave, o instrumento coletor de dados.

O estudo de caso desenvolveu-se da seguinte forma: uma primeira etapa, realizada de Março a junho de 2011 para estudar a forma de implantação, o fluxo de valor projetado para produto e o mapa da situação futura; uma segunda etapa, realizada em agosto do mesmo ano (para complementar a primeira já com dados colhidos na linha de produção) e uma terceira etapa, de implantação da ferramenta.

Na primeira etapa, a empresa observada contratou uma empresa de consultoria, com experiência na implantação da ferramenta, que foi à fabrica a pedido do gerente do projeto do produto. O objetivo maior foi garantir que não houvessem problemas de capacidade e restrições que prejudicassem o fluxo e, consequentemente, que a fabrica fosse capaz de atender aos pedidos dos clientes.

Em duas semanas, especialistas de cada área produtiva (montagem bruta, pintura e montagem final) e de logística (abastecimento, planejamento e controle da produção e expedição) reuniram-se com os consultores, em um *workshop*, e puderam desenhar o MFV. Ao final desse *workshop*, foi consenso que a área de planejamento e controle da produção seria a mais adequada para gerenciar a ferramenta e ter sua implementação estabelecida.

Foi definida uma equipe para trabalhar nesse estudo de caso, formada por dois funcionários do planejamento e o autor desta dissertação. Em seguida foi ministrado um curso para orientar o grupo a utilizar o MFV.

Terminada a fase de preparação, a equipe foi a campo aplicar a ferramenta de MFV, para melhorar o fluxo de valor. Montou-se uma sala de reunião, com os mapas dos fluxos de valor e ações de melhoria necessárias afixadas nas paredes, na qual foram feitas reuniões diárias para eliminar as causas dos problemas que atrapalhavam a implementação do fluxo contínuo.

Finalmente, a partir do embasamento teórico e do estudo de caso, elaborou-se um relatório final cujo intuito foi relacionar a teoria com a prática e, de alguma forma, contribuir com o conhecimento técnico científico na área de Engenharia de Produção.

Para a elaboração do relatório contendo a revisão bibliográfica, a descrição da empresa, o estudo de caso e a conclusão, utilizou-se o software *Microsoft Word®*, obedecendo a uma formatação pré-estabelecida.

3.1 Caracterização da pesquisa

O estudo de caso desenvolvido na dissertação é caracterizado como uma pesquisa-ação, pois pressupõe uma participação planejada do pesquisador na situação problemática a ser investigada.

Recorre-se a um método sistemático, no sentido de transformar as realidades observadas, a partir da compreensão, conhecimento e compromisso para ação dos elementos envolvidos na pesquisa.

Yin (2005) apresenta três condições para escolha do método de pesquisa a ser adotado: tipo de questão colocada; grau de controle que o pesquisador tem sobre os eventos; grau de focalização no contemporâneo em oposição a eventos históricos. Ele ressalta que o esquema básico para categorização para os tipos de questão de pesquisa é: “quem”, “o que”, “onde” e “como”. Observa-se que o tipo de questão de pesquisa para este trabalho é o “como” aplicar o mapeamento para melhorar o processo de produção. Tais pressupostos direcionam para a pesquisa-ação como o método de pesquisa mais adequado.

O processo de pesquisa-ação envolve o planejamento, o diagnóstico, a ação, a observação e a reflexão, num ciclo permanente. Para Yin (2005) “o primeiro momento da pesquisa-ação é a exploração do local a ser pesquisado para diagnosticar o problema prioritário na visão do grupo. Avalia-se, então, a possibilidade de uma intervenção para sanar o problema identificado. É estabelecido um compromisso entre os que participam do processo, que passam a planejar a ação, em reuniões, seminários, discussões e avaliações”.

A pesquisa também utiliza uma abordagem qualitativa, visto que os trabalhos realizados com a abordagem qualitativa caracterizam-se pela procura em entender um problema de pesquisa ou tópico dado, a partir das perspectivas da população local que ela envolve. Pesquisa qualitativa é especialmente eficaz na obtenção de informações

culturalmente específicas sobre os valores, opiniões, comportamentos e contextos das áreas de produção em particular.

Os métodos qualitativos mais comuns são a observação do participante e as entrevistas. Cada método é particularmente adequado à obtenção de um tipo específico de dados.

- A observação do participante é apropriada à coleta de dados sobre os comportamentos que ocorrem naturalmente em seus contextos de costume.
- Entrevistas em profundidade são ideais para coleta de dados sobre histórias pessoais dos indivíduos, perspectivas e experiências.

A pesquisa é aplicada porque pretende utilizar o embasamento teórico, objetivando testar na prática a eficiência desta ferramenta para estudos de comportamento do setor, quando da inserção de variáveis e é descritiva, porque intenciona mostrar a situação como ela é, descrevendo-a segundo um estudo realizado em determinado tempo e espaço.

4. ESTUDO DE CASO DE IMPLANTAÇÃO DO MFV UTILIZANDO SIMULAÇÃO.

Este estudo descreve uma pesquisa-ação realizada em uma empresa fabricante de redutores e autopeças, empresa familiar do mercado nacional, sediada no interior do estado de São Paulo. Sua planta fabril ocupa uma área com mais de 120.000m², abriga um grupo de engenharia e desenvolvimento de produtos, processos de fundição em ferro, bronze e alumínio e usinagem em modernos centros computadorizados, num total de mais de 700 funcionários.

Trata-se de uma empresa de médio porte, que possui certificação do sistema de gestão de qualidade NBR ISO: 9001:2000. A empresa possui processos bem definidos e deseja dar inicio a um programa de melhoria de processos que suporte o desejo de aumentar a produtividade de sua planta, absorvendo assim uma gama superior de projetos. A empresa pretende, através do MFV, diagnosticar mais apuradamente seus processos, para ter melhor controle dos custos e produtividade. A empresa é eficaz, porém encontra sérios problemas em ser eficiente, daí a necessidade de empreender programa de melhoria que leve ao alcance da efetividade (eficácia+eficiência). No âmbito dos produtos fabricados pela empresa, destaca-se forte *know-how* na fabricação de redutores de velocidade, que corresponde a cerca de 60% das encomendas.

Dentre as demais famílias produzidas pela empresa, foi escolhida a família de produtos de redutores e moto-redutores de coroa e rosca sem fim, visto ser esta a responsável pelo maior volume de vendas. A empresa, para esta família, possui um *takt time* de 1,2 minuto, ou seja, os clientes compram este produto a uma taxa média de um redutor a cada 1,2 minuto.

Buscou-se manter a qualidade atual, reduzindo os custos de produção das peças, propondo melhorias no processo, agregando mais valor ao produto e reduzindo desperdícios. Esses produtos foram desenvolvidos segundo as necessidades do mercado.

Para por em prática a ferramenta, devem ser descritos, primeiramente, os macroprocessos da empresa, para que seja possível visualizar o seu funcionamento e conhecer a relação de dependência entre eles. Posteriormente a esta etapa será feito um minucioso estudo dos processos, para explodir as macroatividades em um detalhado MFV que explique todos os processos envolvidos na confecção do produto, tornando possível desenvolver uma análise de valor dos processos que permitam a elaboração de um plano de ação que reduza o efeito das atividades que não geram valor no produto final, de forma que seja possível obter um menor tempo de ciclo e uma redução de custos do produto, evitando assim atrasos na entrega do produto ao cliente.

A empresa dispõe de um *layout* com características do tipo funcional, onde existe mão de obra de nível técnico altamente qualificado, capaz de produzir uma alta variabilidade de produtos com equipamentos de baixo custo. Tal *layout* possui a marcante característica de necessitar de altos gastos com supervisão de empregados. A empresa é receptiva às ideias de produção enxuta.

4.1 Descrição dos processos estudados para a família de produtos definida

A empresa utiliza vários processos industriais necessários para a fabricação de cada produto e subproduto da família.

O conjunto de processos de modelagem, fundição, rebarbagem e usinagem são denominados como processamento. Após, existe o processo de montagem. Já o jateamento e a pintura são denominados como processo de pintura.

A maioria das peças fundidas, especialmente as grandes, é feita em moldes de areia. Areia, misturada com um aglutinante dar-lhe firmeza, é pressionada em torno de um molde de madeira, que ao ser removido deixa uma cavidade na areia. É derramado metal fundido na cavidade, onde fica até se solidificar. Em relação às peças pequenas e simples são usados moldes metálicos.

Usinagem é o processo de retirar material de uma peça de trabalho. A usinagem é necessária para dar acabamento nas peças fundidas, usando tolerâncias apertadas sobre as dimensões, para o encaixe de outros componentes do produto.

É importante vero processo de usinagem, bem como todas as operações de fabricação, como um sistema que consiste na peça, na ferramenta e na máquina. A usinagem nesta unidade fabril inclui torneamento, fresamento, furação e retificação.

Corte pequeno que elimina os cantos vivos de uma peça, consistindo assim numa etapa de preparação para processo de montagem. Por tratar-se de uma atividade basicamente manual, é de extrema importância ser feito com acompanhamento específico de um supervisor especialista, para minimizar erros e facilitar o processo de montagem.

Após os devidos tratamentos das peças, monta-se o conjunto tendo como documento de referência o desenho desenvolvido em AutoCad, fornecido pelo departamento de engenharia.

A montagem é uma etapa importantíssima, que requer mão de obra experiente e alta supervisão para ser eficiente. Nesta etapa é preciso muito cuidado, visando a reduzir o risco de acidentes. As tolerâncias da montagem devem respeitar as normas aplicáveis ASME e ABNT.

Fase inicial do acabamento do equipamento, que consiste num tratamento para eliminar riscos, manchas, rebarbas e proteger contra corrosão, garantindo que a

superfície do produto esteja na melhor condição possível para receber o tratamento de tinta, na fase subsequente de pintura

Consiste basicamente em limpeza e mudança de textura pela aplicação de um jato de ar carregando material abrasivo.

Fase final de acabamento do equipamento, onde deve ser isolada uma área específica para aplicar todas as demões de tinta necessárias para finalizar o equipamento, utilizando as tintas indicadas no plano de pintura específico, desenvolvido por inspetor autorizado.

É preciso cuidado especial com a condição do local de tratamento, para evitar contaminação e interferência na qualidade do processo.

Toda a superfície a ser revestida deve estar limpa, isenta de óleo, graxa, sujeira, poeira ou qualquer matéria estranha ou contaminante, deixando o substrato metálico isento de quaisquer contaminações.

As tintas a serem escolhidas devem seguir o padrão de qualidade das normas internacionais de pintura, de acordo com o tipo de funcionamento desejado para o equipamento (ABNT e ASME)

4.2 Delineando o MFV

O esforço de mapeamento começa com a determinação do fluxo de valor a ser melhorado e envolve grandes esforços de escopo, para identificar os limites práticos da atividade de mapeamento. O processo a ser escolhido deve ser aquele em que o cliente perceberia a criação de valor. O mais indicado é um processo existente que tenha um número razoável de partes interessadas, início claro e pontos finais e um indicador de desempenho. Este último item é importante, porque deverão ser estabelecidas métricas de redução do *lead time*, de desempenho e produtividade para se avaliar as melhorias.

Uma vez definida, a equipe de mapeamento desenha o MFV atual que mostra como os processos realmente funcionam (e não como o processo é documentado ou como ele deve funcionar). Esta condição, com todos seus os problemas, ineficiências e falhas, é exibida para toda a equipe. É fundamental que o MFV atual seja uma descrição real do que realmente está acontecendo. Para que as maiores melhorias possam acontecer, deve haver a documentação completa de todas as atividades que não agregam valor. Neste momento, é fundamental que a equipe de mapeamento identifique os desperdícios no sistema e, mais importante, as causas de tais desperdícios. O

desperdício é apenas um sintoma que aponta para problemas dentro do fluxo de valor (ou sistema). A identificação das causas leva à eliminação de problemas, evitando que problemas semelhantes voltem a acontecer.

As primeiras formas do MFV começaram com um diagrama de blocos simples, com a representação gráfica do cliente final, da montagem e dos principais departamentos. A Figura 8 é uma versão dos esboços iniciais, construindo um mapa do fluxo de entrega de maneira simples e lógica.

Figura 8 - Demanda de produtos e visão geral de fluxo de entrega.

Após a visão geral do fluxo de entrega, o foco passou para o MFV do fluxo de entrega. Novamente, isso se originou com diagramas de blocos simples identificando os papéis existentes no departamento. A Figura 9 mostra uma versão dos esboços originais do fluxo da cadeia de suprimentos. Este fluxo muito simples ajudou a aumentar a compreensão dos papéis individuais entre os departamentos.

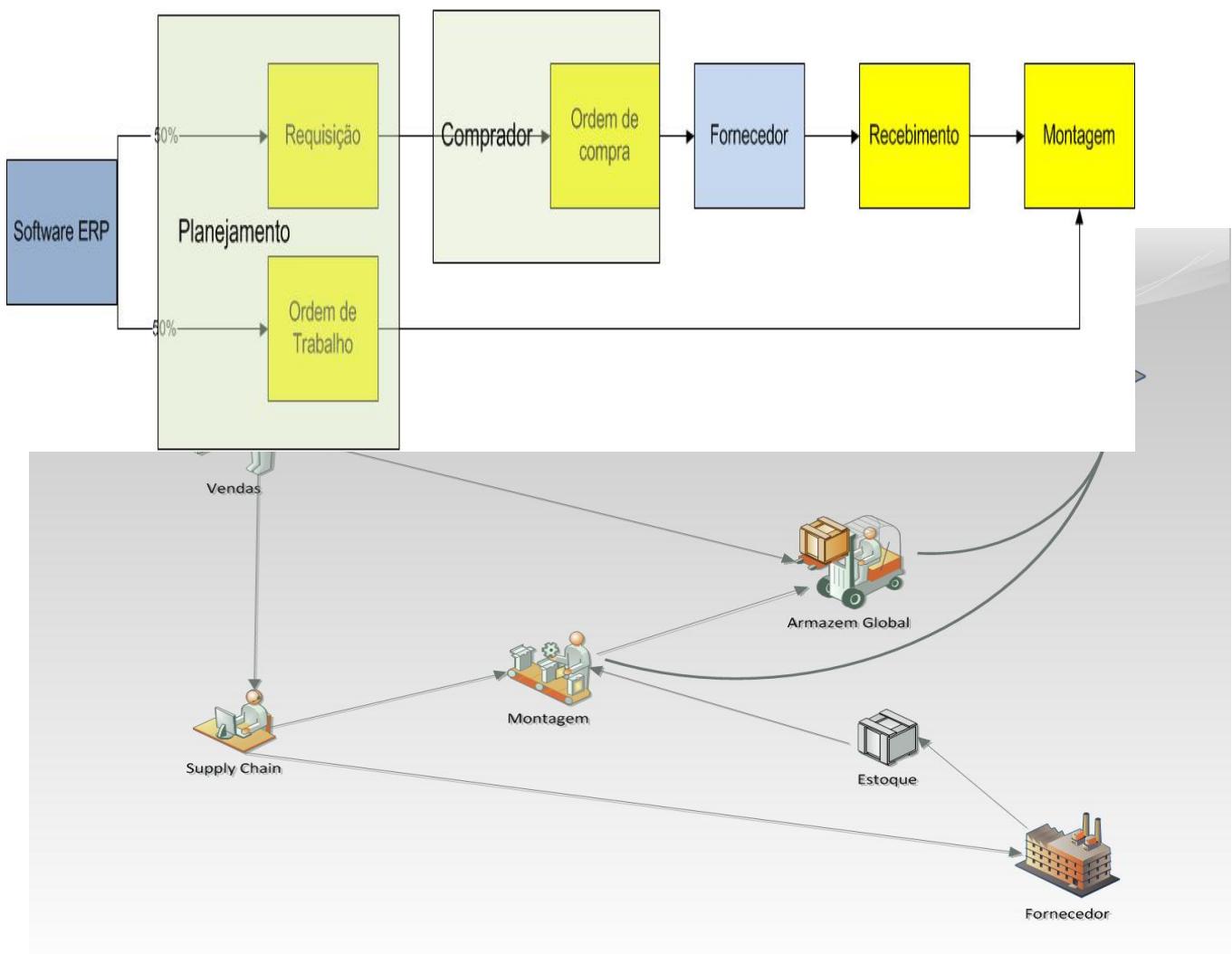


Figura 9 - Mapa de Fluxo de Valor da Cadeia de Suprimentos

O passo seguinte foi iniciar o mapeamento de fluxo do processo mais detalhado dentro de cada papel neste fluxo de trabalho. A Figura 10 apresenta uma definição clara do fluxo de processo semelhante em todas as linhas do produto. Nesta figura é apresentado um fluxo de processo no qual é possível visualizar as operações que geram desperdícios mas são necessárias e as operações que agregam valor ao produto. Mesmo que cada equipe de trabalho tenha seus próprios métodos, houve padrões comuns de cada segmento.

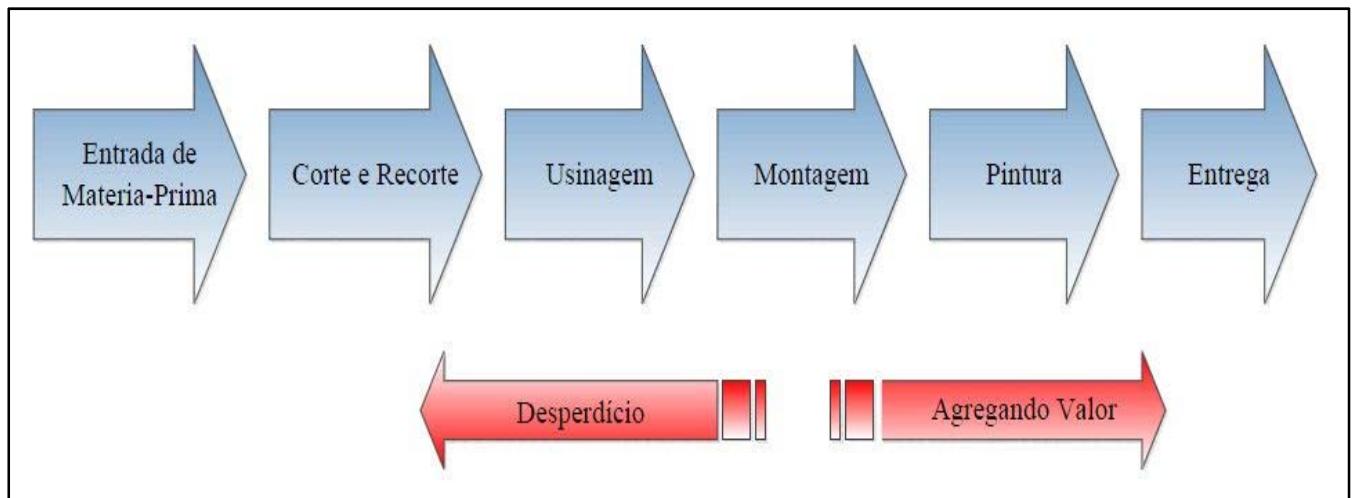


Figura 10- Fluxo de processo em todas as linhas do produto.

Além disso, o MFV completo envolve a observação dos muitos detalhes, de uma extremidade à outra do processo. Os detalhes do fluxo de trabalho devem ser compreendidos e identificados, além de todo o sistema, incluindo o fluxo de trabalho e fluxo de informações.

4.3 Detalhando o MFV

Os detalhes do fluxo de trabalho através de responsabilidades individuais devem ser entendidos e identificados, além de todo o sistema, incluindo o fluxo de trabalho e fluxo de informações.

A melhor maneira para começar é fazer as perguntas certas. Além disso, um quadro é necessário para organizar todas as respostas. Os primeiros passos para a criação de um MFV envolvem puxar essas respostas, a partir da rede de pessoal operacional, e organizá-las em um fluxo contínuo. Uma vez no lugar, a equipe de mapeamento desenha o Mapa do Estado Atual.

É fundamental, neste momento, que a equipe de mapeamento vá para o próximo passo e identifique os desperdícios no sistema. O desperdício é apenas um sintoma, que aponta para os problemas dentro do fluxo de valor do sistema. A identificação das causas de desperdícios permite realizar ações para a eliminação de problemas, evitando que problemas semelhantes voltem a acontecer.

Para efetivamente criar um MFV, deve-se trabalhar a partir de informações específicas e detalhadas. Este estudo começa com um diagrama básico do fluxo do produto, com todos os processos necessários para sua fabricação. Então é preenchido o mapa com dados mais detalhados.

Todos os caminhos de fluxo de trabalho podem ser ilustrados com um MFV, porém, alguns caminhos de fluxo de trabalho são mais críticos que outros, ou produzem resultados mais imediatos no MFV inicial. Os caminhos de fluxo de trabalho nos quais inicialmente são descobertos desperdícios devem ser priorizados para que sejam eliminados.

4.4 Levantamento do Mapa de Fluxo do Valor Atual

Conforme foi determinado pela metodologia de estudo de caso, todo o processo é monitorado pela equipe de implantação e pelo pesquisador, que combinam diferentes formas de coletar os dados do processo. Por definição, os resultados e as conclusões são principalmente derivados da observação exaustiva de cada um dos processos em cada fase.

A equipe de implantação realizou o levantamento das informações dos processos de fabricação dos produtos após as fases definidas pelo MFV, coletando os seguintes dados:

Tempo de trabalho.

- 21 dias por mês, 2 turnos de operação.
- 8 horas por turno, com 1 intervalo de 30 minutos por turno.

O processo de produção é formado pelo Centro de Usinagem (CM), Montagem (M) e Pintura(P). As carcaças brutas para a montagem dos equipamentos são fornecidas diariamente pela fundição (F) própria.

Tempos de trocas de ferramentas de uma peça para outra (TR):

- TR=120 min no CM.
- TR=15 min na Montagem.

- TR=10 min na Pintura.

Centro de Usinagem:

- Tempo de Ciclo: (TC)=4,47 min.
- São usinados lotes para 1 dia (Tempo de Lote (TL)=1 dia).
- Tempo Utilizável: TU=90%.

Montagem:

- Tempo de Ciclo: TC=45,2 min.
- Tempo Utilizável: TU=90%.

Pintura:

- Tempo de Ciclo: TC=30 min.
- Tempo Utilizável: TU=60%.

Departamento de Expedição:

- Coleta as peças no Almoxarifado de acabados.
- Prepara embarque diário.

A Figura 12 mostra o mapa de estado atual.

As características mais marcantes do sistema atual são as seguintes:

- Pedidos – São colocados pelo departamento comercial (vendedores internos e externos) em uma base diária e sabe-se com antecedência de um dia quais tipos e quais quantidades do produto devem ser solicitadas à produção;
- Demanda – O cliente transmite o pedido de compra ao representante, que por sua vez retransmite à empresa, após implantá-lo no sistema ERP. Essa demanda pode variar significativamente de dia para dia. No que se refere à produção, o fluxo de pedidos é uniforme, em termos de volume total de equipamentos, mas não em termos de cada tipo de produto.
- Planejamento e controle de produção (PCP) – Após a chegada da solicitação de produto feita pelo departamento comercial, o PCP controla todos os aspectos da produção, incluindo materiais, programação de máquinas e pessoas.
- Estoque de matéria prima – É consultado após a entrada de pedido e após ter sido feita a solicitação de produção. Caso necessário, o usuário emite uma requisição de compras conforme a sua necessidade de material e é providenciada a compra da matéria prima.

- Fundição da empresa é própria. Após o PCP definir o processo de fabricação, é emitida uma ordem para a fundição fornecer a carcaça do redutor ao setor de usinagem, onde será rebarbada e usinada, para a instalação dos rolamentos.
- Setor de usinagem - Todas as estações de trabalho necessárias para usinar as peças estão juntas no mesmo setor, não importando a linha de produtos.
- Setor de montagem- A fabrica não é automatizada e a montagem dos equipamentos é feita em bancadas, não importando a linha de produtos.
- Pintura e embalagem – A célula de pintura é compartilhada por todas as famílias de produtos, gerando fila de espera.
- Sistema de Informação – É responsável por todo o gerenciamento e fluxo de informações da fábrica e abrange diferentes funções empresariais, inclusive as compartilhadas com clientes e fornecedores da cadeia de suprimento.

Quando o MFVA é criado, as áreas problemáticas tornam-se aparentes. Os pontos de estrangulamento, acúmulo de estoque, processos com baixa qualidade e as operações que requerem uma coordenação excessiva devem ser todos marcados como explosão kaizen, que indica as áreas de foco para o MFVF. Operações onde o trabalho é empurrado a jusante também devem ser realçados.

Ao desenvolver o MFVF, são feitas muitas suposições sobre as mudanças que podem ser feitas em diversas áreas, tais como a concepção das células de trabalho, projeto do sistema kanban e oportunidades de configuração. A explosão Kaizen, que indica as áreas onde é necessário formular e implementar mudanças, é sinalizada utilizando-se o símbolo mostrado na Figura 11.



Figura 11- Símbolo de explosão Kaizen.

Fonte: Software Microsoft Visio.

A equipe de implementação documentou os fundamentos para o mapa de fluxo. Foram identificadas e documentadas as necessidades dos clientes e os prazos de entrega dos fornecedores e definido o fluxo de informações do sistema. A equipe, então, dirigiu-se ao chão de fabrica, para percorrer o processo de trás para frente, começando no ponto de saída do produto para o cliente. A cada passo ao longo do caminho, cada membro da

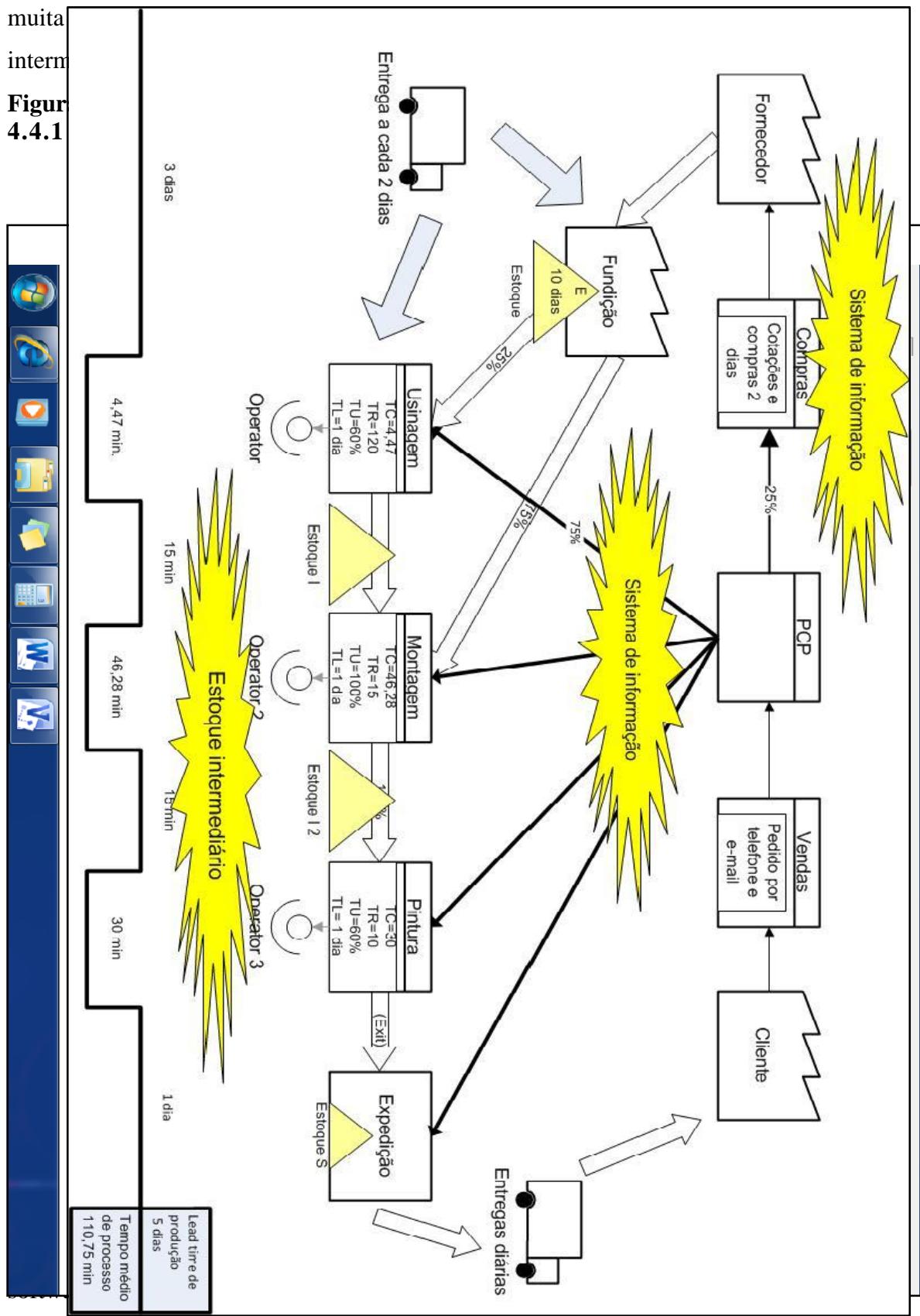
equipe registrou o estoque intermediário daquele local, o tempo do processo, o tempo de ciclo, o tempo de troca de ferramentas, o rendimento aproximado do processo, o tempo do centro de usinagem, o número de operadores necessários para cada processo e o número de turnos por dia pelo qual o processo é composto. Além disso, cada membro da equipe perguntou e registrou todas as sugestões ou problemas com o centro de usinagem, o processo, ou barreiras, para conseguir que o trabalho seja feito de forma eficiente.

Depois que todos os dados foram gravados, a equipe discutiu os resultados e postou as informações sobre o MFVA, mostradas na Figura 12. A linha de luz contínua, em todo o terço inferior do mapa, é a seqüência de operações separadas pelos marcadores de estoque.

Em uma primeira análise, a equipe constatou que 60,48% do *lead time* é formado por atividades que não agregam valor ao produto e somente 39,52% por atividades que agregam valor.

Os processos marcados com a explosão Kaizen no primeiro MFVA são as áreas onde os problemas ficaram mais aparentes. O sistema de informação da empresa gera muita interm

**Figur
4.4.1**



daquele software, chamado *process simulator*. Esta simulação, mostrada na Figura 13,

foi feita para revelar os aspectos que apresentam desperdícios, a serem trabalhados durante a construção do MFVF.

Figura 13 - Mapa do fluxo de valor atual simulado.

Nas entrevistas, observou-se que o tempo de configuração de máquina (*setup*) variava entre 40 e 90 minutos. Além disso, há a necessidade de olhar para o *lead time* de produção. O tempo de espera variava de 5 dias a 6 dias. Também foi observado que *WIP* era muito alto, devido a desperdícios de espera encontrados na linha de produção, o que estava elevando o estoque inter-operacional.

Observou-se que processos como rebarbagem e pré-usinagem podem ser eliminados, se for melhorada a qualidade das peças fundidas.

Será necessário desenvolver um novo *layout*, no qual o fluxo da linha torne as tarefas de inspeção e controle de qualidade mais fáceis:

- Para a realização de inspeção *on-line* e programas de redução de sucata;
- Foi sugerida a implementação de um sistema Kanban tipo puxar, para colher os benefícios;

A Figura 14 mostra os principais resultados desta simulação. Fazendo uma rápida análise dos resultados é possível observar alguns desperdícios de espera. Ou seja: no Estado de atividade de Capacidade Múltipla, o setor de compras apresenta uma ociosidade de aproximadamente 60%. Algo semelhante ocorre com os fornecedores de matéria prima e o setor de fundição, que apresentam 65% e 70% de ociosidade. Isto também ocorre em diversos percentuais nos setores de montagem, PCP e vendas. Entretanto, é possível observar que os setores de pintura e usinagem representam gargalos importantes no fluxo da produção. Este aspecto fica muito mais claro após a aplicação do simulador, diferentemente de quando é realizado apenas com o MFVA, pois no resultado gráfico ficam evidentes os setores que estão parados ou com baixo fluxo de trabalho e os setores que representam gargalos de produção, como, por exemplo, setor de pintura, que tem uma utilização de 98%.

Analizando os dados para serem inseridos no MFVA foram encontrados os seguintes desperdícios:

- Superprodução que ocorre na linha de usinagem. O observador concluiu que houve um volume produzido maior do que o previsto e que isso só foi percebido depois que a caixa de transporte estava completa. A superprodução normalmente

será armazenada em sala de produção, até posterior notificação pelo planejador de produção.

- Desperdício de espera se refere ao tempo ocioso entre as operações. Ao contrário do desperdício de superprodução, o desperdício de espera é fácil de identificar. Ele assume muitas formas, incluindo a espera de ordens, peças, materiais, itens de processos anteriores, ou para reparos de equipamentos. O desperdício de espera ocorre quando o operador espera a ordem de serviço e o procedimento serem impressos na sala de produção. Depois de obter o cronograma de produção para executar os produtos, o operador tem de ir a o líder e pedir a liberação de matéria-prima e depois espera a matéria-prima e a embalagem serem transferidos para a linha de produção.

Existe desperdício de espera no departamento de compras causado pela morosidade do sistema e falta de fornecedores credenciados para entregas diárias.

- Desperdício de transporte, que desloca mais material do que o necessário. O transporte de produto entre os processos é uma incursão de custo que não adiciona nenhum valor ao produto. O movimento excessivo e manuseio podem causar danos e são riscos para acidentes com a matéria-prima e futuros problemas de qualidade.
- Desperdício de estoque é o excesso de estoque de matérias-primas e até de produtos acabados. Estoque, também conhecido como *Work in Progress* (WIP), é um resultado direto de superprodução e de espera. Estoque em excesso tende a esconder problemas no chão de fabrica, que devem ser identificados e resolvidos, a fim de melhorar o desempenho da operação. Este estoque em excesso é um resultado de produção não acabada. Isso pode incorrer custos adicionais no manuseio e armazenamento, bem como uma maior probabilidade de estoque obsoleto. Do ponto de vista do cliente, não agrega valor ao produto.
- Desperdícios por defeitos de peças que são produzidos e precisam ser retrabalhadas. Foram identificados os desperdícios de defeitos na linha de usinagem do produto, fundição e montagem da família de produtos, criando uma grande quantidade de sucata. Durante a observação, descobriu-se que o operador tem que realizar a inspeção aleatória, para assegurar o desempenho da célula de produção dentro da especificação e evitar falhas de tolerância e retrabalho.

Nesta simulação, ressalta-se o fato de que o sistema de produção apresenta desperdícios que deverão ser cortados. O *lead time* de produção atual para um redutor é de 5 dias



Figura 14 - Resultados de análise do mapeamento de fluxo de valor atual

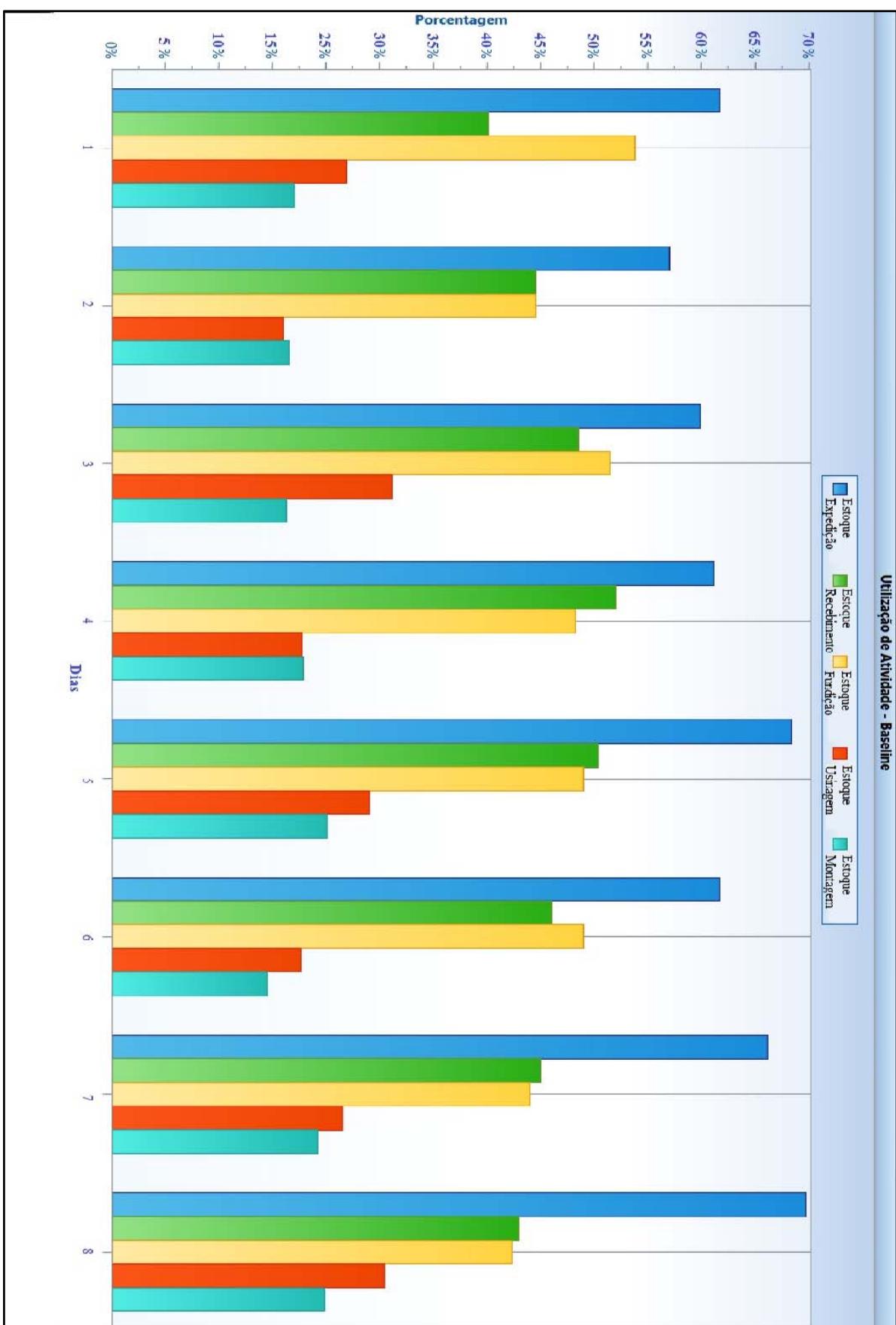
Também foi feita uma abordagem de modelagem de risco para a eficiência de máquina, tempos de ciclo operador, tempos de ciclo de máquina e prazo de entrega a ser adotado. Todos estes refinamentos destinam-se a melhorar a capacidade de mapeamento do fluxo de valor, para avaliar a situação atual e as futuras melhorias em ambientes onde a variabilidade e risco são altos.

Técnicas de simulação podem lidar com a incerteza e criar visualizações dinâmicas dos níveis de estoques intermediários. A simulação contemplou o período de 12 horas:

- Estoque 1 - Representa o estoque da fundição;
- Estoque 2 – Representa o estoque intermediário entre usinagem/ montagem;
- Estoque 3 – Representa o estoque intermediário entre a montagem/ pintura;
- Estoque 4 – Representa o estoque intermediário da expedição;
- Estoque 5 – Estoque regulador do fornecedor.

A Figura 15 mostra um histograma de estoque. Esta abordagem fornece uma quantificação dos níveis de estoques intermediários durante o processo de produção. Como pode ser visto, os níveis dos estoques intermediários são muito elevados, chegando a 70% do estoque da empresa para a produção mensal.

Esta informação permite que os gerentes de empresa comparem o desempenho esperado do futuro sistema enxuto MFVF com o sistema existente MFVA. Esta comparação pode ser uma boa base para apoiar as decisões a serem adotadas pelos gestores da empresa.

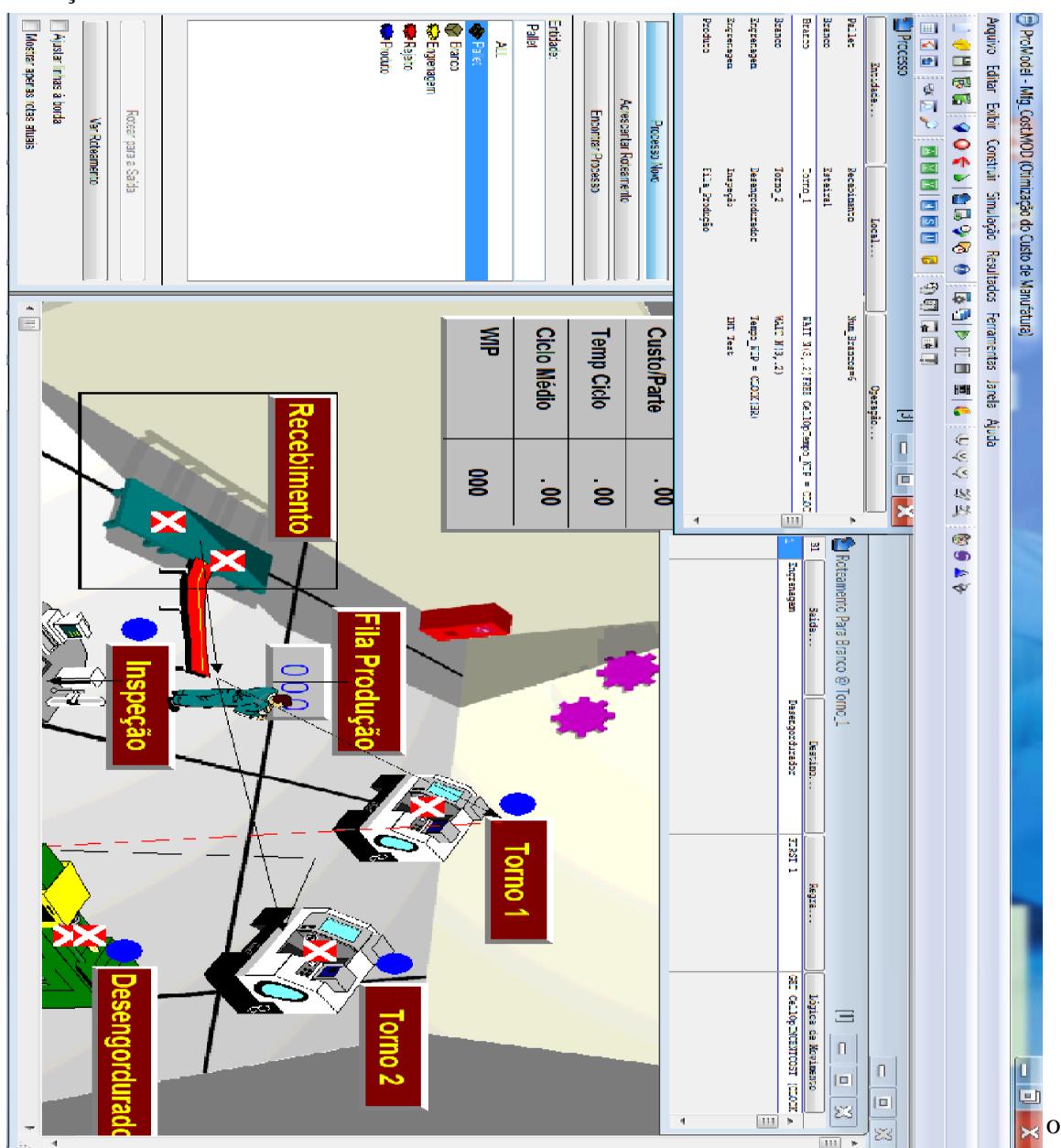


e diferentes saídas. As saídas do modelo, tais como informações estatísticas, são relatadas de volta para o banco de dados do *software* sem interferência do usuário.

Figura 16 - Banco de dados usado para entrada e saída.

O MFV simulado permite visualizar vários cenários a serem executados, de acordo com as diferentes situações, para dar mais flexibilidade aos usuários. As entradas do MFV tradicional e do MFV simulado são quase as mesmas. No entanto, o MFV exige valores constantes. Como nessas entradas não é preciso um processamento adicional, isso não afetará a saída de dados. Por outro lado, nos MFV's simulados são computados os dados e insumos do processo estocástico, a fim de dar mais realidade ao sistema modelado, permitindo saídas mais próximas da realidade do processo.

Algumas sugestões para a eliminação dos problemas encontrados foram feitas na criação do MFVF:



operador da linha controle e elimine o estoque desnecessário. Estas folhas servem para medir todos os três elementos (tempo de ciclo, a rotina de operação

padrão e o montante fixo de trabalho em processo) a cada período de tempo. Um painel digital é outra recomendação normalmente usada para mostrar o ritmo de produção (tempo *Takt*), o dia da produção e o número de unidades que foram produzidas durante o dia.

- Espera - Foi proposto que todas as ordens de produção saiam já impressas do PCP diretamente para o líder de produção, que fará a distribuição para as células de produção. A espera de matéria-prima e embalagem que é transferida para a linha de produção pode ser reduzida, através da utilização de sistemas Kanban. Como mencionado, um Kanban é uma ferramenta para alcançar o *just-in-time*. Ele consiste em um cartão contendo toda a informação necessária para ser fabricado um produto, em cada etapa, ao longo de seu caminho para a conclusão e quais partes são necessários em processos subsequentes. Pela utilização desta ferramenta, as peças podem ser movidas rapidamente de um centro de trabalho para outro, melhorando o fluxo de material e reduzindo o trabalho entre processos.

Para resolver o problema de espera no *Start-up* de equipamentos, foi sugerida a aplicação de troca rápida de ferramentas (QCO). O método QCO tem origem na metodologia chamada de SMED, que foi desenvolvido por Shigeo Shingo na Toyota. O SMED é a teoria definida por técnicas que tornam possível configurar ou mudar as ferramentas do equipamento em menos de 10 minutos. O processo inclui a análise sistemática de transição e, em seguida, a aplicação de técnicas de troca rápida e estratégias, para reduzir o tempo de inatividade da máquina e/ou da linha de produção. Alguns exemplos que poderiam ser utilizados nesta situação incluem:

- a). Definição de ferramentas perto do centro de trabalho, reduzindo o tempo que o operador gasta para ter acesso a essas ferramentas.
- b). Padronização das operações de configuração, de modo que cada operador execute a instalação da mesma maneira.
- c). Estabelecer um tempo padrão para executar uma instalação. Por esta abordagem, cada operador deve executar a instalação do centro de trabalho no mesmo período de tempo.
- d). Instalação de relógios em cada centro de trabalho, a fim de determinar quanto tempo um operador está gastando para configurar a máquina.

- Transporte - Para reduzir o desperdício de transporte, foi sugerido reposicionar a instalação do almoxarifado que armazena a matéria-prima, peças semiacabadas e outros, colocando-o próximo ao setor de utilização, afim de encurtar o tempo necessário para a transferência e processamento de materiais. Assim, não só os desperdícios de transporte seriam reduzidos, mas também o desperdício de movimento e de espera.
- Estoque – A fim de reduzir o desperdício de estoque, a sugestão foi a redução do tamanho do lote em tamanho de lote mínimo representando a produção de 2 dias. A criação de um lote mínimo também reduz o *WIP* para um volume que satisfaça a demanda dos clientes por dia.
- Defeitos - A fim de reduzir o desperdício de defeitos, a sugestão foi a realização de uma análise mais aprofundada, para encontrar a causa real dos defeitos. Se a causa real estiver relacionada à qualidade de matéria-prima, produtos e peças, será necessário envolver o departamento de qualidade e o departamento de compras, para descobrir a melhor especificação e pedir ao fornecedor que se adapte. Estando a causa real relacionada à confiabilidade dos equipamentos, foi sugerida a implementação de manutenção produtiva total (TPM), para aumentar a eficiência, bem como a vida útil dos equipamentos envolvidos.

A melhoria alvo aprovada pela equipe para redesenho foi a redução do *lead time* de 5 para 3 dias através da integração e melhor comunicação entre os fornecedores, departamentos, estoques intermediários e corte dos desperdícios já mencionados anteriormente.

O mesmo procedimento utilizado no MFV atual foi utilizado para o MFV futuro, gerando vários relatórios de simulação, como pode ser observado nas Figuras 17, 18 e 19 que mostram simulações de vários cenários de MFVF.

Comparado com o mapeamento do fluxo valor tradicional, a simulação fornece saídas quantitativas mais precisas, com medidas de desempenho de vários cenários que permitem uma melhor tomada de decisão.

Os resultados desta análise podem ser utilizados pelos tomadores de decisão, usando a diferença entre o valor do melhor caso e o pior caso como uma medida de risco de um ativo ou modificação.

No cenário 1, mostrado na Figura 17 do MFVF com a montagem e pintura em um fluxo continuo, ocorreu um pequeno aumento de produção, porém surgiram alguns gargalos como, a usinagem, que em seu fluxo de trabalho diário vai da ociosidade à

ocupação total da célula. Outro gargalo que ficou evidente foi o recebimento de materiais, que é feito 3 vezes por semana.

A montagem e pintura em fluxo contínuo apresentou uma ociosidade de 65%, o estoque *kanban* ficou com 95% de operação. A ideia do estoque de *kanban* é similar ao sistema de funcionamento de um supermercado. O modelo de supermercado é um *buffer* entre dois modelos de processamento ou linha de fluxo. Ele está pronto para enviar as peças ou produtos ao receber um sinal a jusante; um *Kanban* seria então liberado para fluxo para reabastecer o supermercado.

Painel

Nome	Total de Entrada	Total de Saídas	Tempo Médio no Sistema (Min)
TRANSACTION	1112,0	101,20	

Estados dos Recursos - Baseline

Resource	% Em Uso	% Ocupado	% Parce Não-Planejada
Entrada	~70%	~20%	~10%
Op 12	~70%	~20%	~10%
Operator	~70%	~20%	~10%
Recebimento	~10%	~80%	~10%

Percentual

Est. Atividade Cap. Única - Baseline

Activity	% Operação	% Ocioso
Cliente	~70%	~30%
Estoque	~70%	~30%
Estoque Supermercado	~70%	~30%
Montagem e Pintura em Fluxo Contínuo	~70%	~30%

Percentual

Est. Atividade Cap. Mlt. - Baseline

Activity	% Vazio	% Parcialmente Ocupado	% Cheio
Compras	~70%	~20%	~10%
ERP	~70%	~20%	~10%
Esped. o	~70%	~20%	~10%
Fornecedor	~70%	~20%	~10%
Fundi o	~70%	~20%	~10%
Usinagem	~70%	~20%	~10%
Vendas	~70%	~20%	~10%

Percentual

Estadística da Execução - Baseline

Principais

Estadística do Revenuo - Baseline

Estadística do Rendimento - Baseline

É possível se criar mais de uma versão do mapa do estado futuro, sendo um deles a situação ideal, os outros são aqueles que aceitam várias limitações dentro do sistema, que terão de ser removidas para novos progressos.

Após a tomada de decisão sobre qual é o mapeamento ideal para a empresa, um plano de melhoria foi proposto para os próximos meses, enfocando o novo desenho criado no mapa de estado futuro, visando ao cumprimento do objetivo principal de reduzir e estabelecer o *lead time* de 3 dias.

4.6 Proposta de Mapeamento do Fluxo de Valor Futuro

O MFVF foi elaborado a partir do mapa atual e é mostrado na Figura 13. As orientações e procedimentos do conceito *Lean* foram usados para realizar o delineamento do MFV, cortar desperdícios e operações que não agregam valor ao produto (ROTHER;SHOOK, 2003).

No MFVA, o processo de produção é “empurrado” e interrompido frequentemente, pois cada área cuida de seu estoque no seu tempo e o gerenciamento do ciclo é dividido por área de atividade.

No projeto do MFVF, tendo visualizado o mapa do estado atual e os cenários simulados, identificou os desperdícios e os problemas associados. Algumas mudanças no fluxo de valor da família de produtos foram necessárias e feitas no mapa do estado futuro, como mostrado na Figura 20. No início do fluxo de valor, propõe-se a compra de material apenas de acordo com as necessidades, embora ainda continue analisando possibilidade do estoque de segurança definido na planta. Foi alterado o fluxo de entregas do fornecedor para entregas diárias. Foi proposto, também, a implementação do conceito de compra no qual o fornecedor mantém o estoque ou remessa para a empresa em seu armazém, de acordo com o consumo mensal ou semanal. O material só é entregue na planta quando o PCP liberar a ordem de produção para o chão de fábrica.

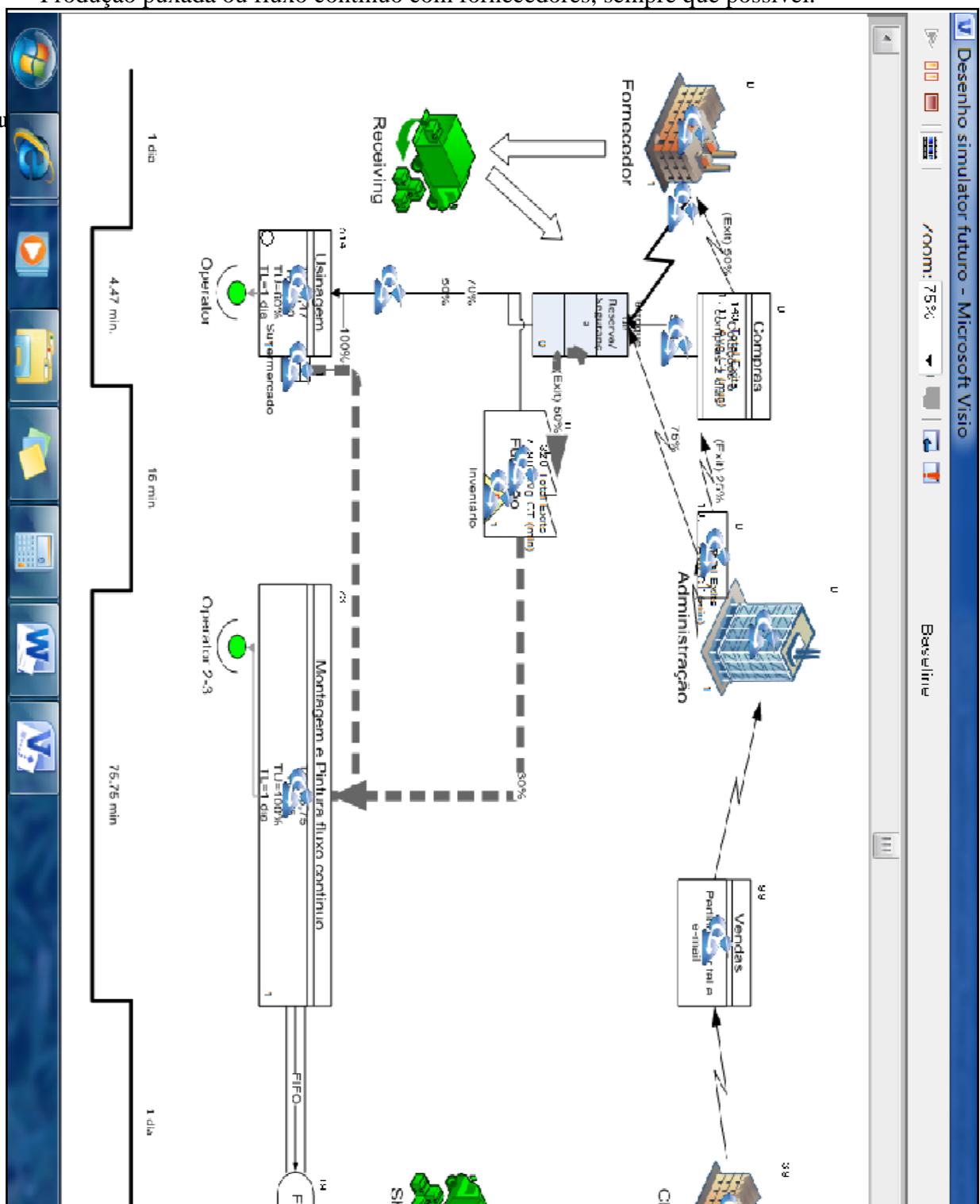
Para a elaboração do MFVF, este processo foi modificado para “Puxado” e contínuo, no qual o fluxo de materiais é puxado de acordo com a solicitação final do cliente e o gerenciamento das atividades é integrado e contínuo.

As informações entre os departamentos e setores passaram a ser eletrônicas (EDI), ganhando rapidez e flexibilidade nas respostas de demanda.

As orientações para a ação *Lean* fornecidas pelo MFV foram usadas para explicar as propriedades do mapa elaborado para o futuro:

- Alteração do sistema de informação manual para o eletrônico, gerenciado automaticamente pelo Software ERP.
- Produção orientada de acordo com a família de produtos e seu fluxo específico;
- As necessidades dos clientes são levadas em consideração, para balancear a taxa de produção;
- Integração de fornecedores on-line para fornecimento de acordo com a demanda;
- Implantação de estoques intermediários de peças, para agilizar os processos produtivos.
- Controle de produção visual;
- Produção puxada ou fluxo contínuo com fornecedores, sempre que possível.

Figura



5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste trabalho, a eficácia dos princípios de manufatura enxuta ficou fundamentada de forma sistemática, com a ajuda da simulação e do MFV. No entanto, o sucesso completo e continuado da aplicação do MFV depende de uma estreita cooperação entre o pessoal de chão de fábrica e o pessoal da gestão, para que o fluxo de informação seja um reflexo do que realmente acontece na fabricação. Assim, é possível que sejam feitas as correções sempre que necessárias.

O resultado mais importante, em termos de validar a ferramenta, foi o sucesso da aplicação. No entanto, o projeto de pesquisa com base no estudo de caso também obteve informações importantes para endossar e completar as conclusões da pesquisa. Como mencionado, esses resultados vieram de duas fontes principais de informações: a observação do processo e as entrevistas realizadas com os membros da equipe de implementação.

Quanto à avaliação do MFV como técnica para redesenhar os sistemas de produção, as entrevistas com a equipe de implantação do MFV serviram para classificá-lo como excelente para o processo de produção e reengenharia. A equipe mostrou-se satisfeita com a metodologia prevista e os resultados obtidos e observaram que a metodologia será útil para qualquer reformulação posterior do sistema de produção.

As impressões da equipe, obtidas através de entrevistas, também apontaram para o desenvolvimento do mapa do estado atual como o estágio mais caro, devido ao trabalho envolvido na obtenção dos dados de processo, que, no entanto, foi facilitada, em grande parte através da consulta aos sistemas de informação da companhia. Assim, a utilização deste recurso foi considerada uma importante ajuda e um elemento fundamental para acelerar o processo de aplicação do MFV. Estes sistemas de informação foram utilizados em dois campos: primeiro, como contraste e validação para a informação recolhida pelo coordenador no chão de fabrica e, segundo, como fornecedor de informação de processamento, que exige uma análise estatística para obter indicadores da família de produtos em um nível de valor agregado.

Outro ponto destacado na entrevista foi a necessidade de envolver a gestão. A equipe salientou a necessidade de manter o conselho de administração informado e envolvido no processo pode ajudar a acelerar a tomada de decisões. Até este ponto, a equipe enfatizou a importância de a gestão ter algum conhecimento sobre os aspectos produtivos da empresa e a filosofia de produção enxuta.

Os fornecedores tiveram o desempenho avaliado segundo os quesitos de pontualidade e nível de estoque, para que não ocorressem falhas nas entregas e, consequentemente, atrasos na linha de produção.

Se estes princípios de gestão não forem totalmente adotados em conjunto com o chão de fábrica, o sistema *Lean* não permitirá alcançar os benefícios expostos neste estudo.

6. CONCLUSÕES

Este trabalho mostra a combinação entre mapeamento do fluxo de valor e simulação. Como pôde ser demonstrado, nesta combinação, foi adicionada sinergia e força para ambas as ferramentas. A simulação acrescentou a dimensão de tempo para MFV, tornando fácil saber o estado do sistema sob circunstâncias diferentes, possibilitando uma melhor tomada de decisão, com o objetivo de entender melhor a filosofia de produção enxuta e de usar a simulação como ferramenta auxiliar na implementação do MFV.

A simulação também dá algumas informações adicionais e possibilidades. Seus resultados podem fornecer informações sobre diferenças nos prazos de entrega, tempos de preparação diferentes e até mesmo, eventualmente, ver quais os efeitos da troca mais rápida de ferramenta.

Como principais chaves para assegurar o sucesso desta aplicação, os seguintes aspectos devem ser mencionadas:

- Ter uma equipe pronta, com papéis estabelecidos de acordo com o que a técnica do MFV aconselha.
- A necessidade de envolver a gestão na tomada de decisões, mostrando a importância do projeto para a empresa.
- A importância dos sistemas de informação para obter, comparar e processar os dados relativos ao fluxo de produção. Este recurso é de grande valor por duas principais razões: por um lado, ele acelera o processo de aquisição de dados para o desenho do mapa do estado atual e, por outro, subscreve os dados obtidos na planta de produção em si.

Usando blocos de construção do modelo de simulação para ícones MFV, conseguiu-se uma razoável flexibilidade e potência no modelo de simulação.

Com o caso estudado em fabricante industrial de redutores, foi possível ver como MFV pôde criar condições para proporcionar melhorias, quando adequadamente implementado.

O estudo de caso mostra que é possível fazer uma comparação entre MFVA e MFVF e observar as melhorias alcançadas nesta implementação:

- Redução de 60% do *lead time*, 5-3 dias;
- Redução de 10% e 30% em *idle* e fornecedores de fundição, respectivamente;

- Redução do tamanho dos lotes de produção em 73,42%, devido a implantação do *kanban* supermercado, aumentando a flexibilidade da empresa;
- Aumento da produtividade de 56,7%, com o aumento da produção de 919 redutores para 1621 no periodo de 5 dias;
- Implantada da produção puxada. A usinagem encaminha as peças para um modelo de supermercado, ao invés de produz para estoque.
- Os estoques intermediários foram eliminados e foi utilizado um sistema de inventário *kanban* supermercado, aumentando a produtividade com menos recursos.
- Melhora a taxa na ocupação das máquinas com uma média de 83%.

Outra vantagem desta ferramenta de simulação é sua simplicidade, tanto para a sua compreensão como para sua utilização. O MFV mostrou-se uma ferramenta adequada para o redesenho do sistema de produção. Isso foi demonstrado nos resultados obtidos no projeto aqui descrito.

Existem muitas possibilidades para um MFV simulado, preparando o caminho para uma melhor compreensão das técnicas de manufatura enxuta pelos tomadores de decisão, tornando mais fácil a sua implementação.

Observou-se, conforme apresentado nas discussões, que a integração do MFV e ERP permitiu uma significativa redução nos estoques da linha de produção, diminuindo o tempo total de produção por redutor em 40%, o que possibilitou a redução de custos e uma maior flexibilidade no processo de produção.

Foi relevante contar com a colaboração das equipes de chão de fábrica e do gerenciamento da produção, tanto na construção do mapa atual como do mapa futuro.

Para as funções de gestão de materiais e planejamento foi empregado o ERP, enquanto a lógica da filosofia *Lean* foi empregada nas funções de controle do chão de fabrica e produção.

7. REFERÊNCIAS

- ABDULMALEK F.A e RAJGOPAL J. **Analyzing the benefits of Lean manufacturing and value stream mapping via simulation: A process sector case study.** International Journal of Production Economics, 2007.v 107, Pages 223–236.
- AGARWAL, A., SHANKAR, R. e TIWARI, M.K, **Modeling the metrics of lean, agile and le agile supply chain: An ANP-based approach**, European Journal of Operational Research, 16 August 2006. v 173, Issue 1, Pages 211-225.
- ALMEIDA, A. T. e SOUZA, F. M. C. **Produção e Competitividade: Aplicações e Inovações.** Recife: Editora da UFPE, 2000.
- ALUKAL, G., **All About Lean**, American Society for Quality, Quality Progress, Milwaukee, 2006. Vol 39, Iss 2, pp 74-75.
- AMIN, MD. AL. e KARIM, M. A. “**A systematic approach to evaluate the process improvement in lean manufacturing organizations**”. In The 9th Global Conference on Sustainable Manufacturing, 28-30 September 2011. LENEXPO Exhibition Center, St. Petersburg.
- ANAND, G. e KODALI, R. **Simulation model for the design of lean manufacturing systems - a case study.** International Journal of Productivity and Quality Management, 2009. 4(5-6), 691-714.
- ARAUJO, C. A. C. **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.** São Carlos – SP, 2004. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia da Universidade de São Paulo, São Carlos.
- ARAUJO, C.A.C. e RENTES, A. F., **A metodologia kaizen na condução de processos de mudança em sistemas de produção enxuta.** Universidade de São Paulo – USP, Escola de Engenharia de São Carlos – São Paulo - Brasil, 2006. ISSN 1808-0448 / v. 02, n. 02: p. 133-142.
- BADRINARAYANA S. e VISHNUPRIYA S., **Value stream mapping as the systems way of optimizing the flow in an organization for producing of goods, Proc in a Challenge for Collaborative Manufacture systems;** APCOMS, 2007. Bali, 5th -6th Sept.
- BERGMAN, L.; HERMANN, C. ; STEHR, J. e SEBASTIAN T. (2007). **An Environmental Perspective on Lean Production.** The 41st CIRP Conference on Manufacturing Systems, 2008.
- BERGMILLER, G. e MCWRIGHT, P. **Lean manufacturers' transcendence to green manufacturing.** Proceedings of the Industrial Engineering Research Conference, May 30 – June 3, Miami, FL, 2009.
- BICHENO, J. **The new lean toolbox – towards fast, flexible flow.** PICSIE Books. Buckingham. England, 2004.

BOUZON, M. **Produção Enxuta: Um Modelo Toyota de Sucesso e seus Impactos na Logística.** Disponível em: <http://www.gelog.ufsc.br/Publicacoes/20062/tps.pps>. Acesso em 12/02/2010.

BOYER, M. **How to identify and remove the barriers for a successful Lean Implementation,** Journal of Ship Production, 2003. v. 19, pages 116-120,

BRAGHIROLI, L.F.; **Estudo da Linearidade da Produção em Células da Manufatura Através de Simulação a Eventos Discretos.** Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção – PPGEP. Porto Alegre. Dissertação (Mestrado), 2009.

BROWNING, T. R. e HEATH, R.D., **Reconceptualizing the effects of lean on production costs with evidence from the F-22 program.** Journal of Operations Management, 2009.v. 27,. 23–44.

CORONADO, M. A. E. e LYONS, A. C. **Evaluating operations flexibility in industrial supply chains to support build-to-order initiatives.** Business Process Management Journal, 2007.v. 13, n. 4, p. 572-587.

CURRY, J.J. **A Lean analysis methodology using simulation.** Society of Manufacturing Engineers (SME) Technical Paper. Retrieved December 26, 2009.

DANESE, P.e ROMANO, P., **Supply chain integration and efficiency performance: a study on the interactions between customer and supplier integration,** Supply Chain Management: An International Journal, 2011.v. 16 Iss: 4, pp.220 – 230.

DIAZ, R. e ARDALAN, A., **An Analysis of Dual-Kanban Just-In-Time Systems in a Non-Repetitive Environment.** Production and Operations Management, 2009.vol. 19, no. 2, pp233-245.

DONATELLI, A. e HARRIS, G. **Combining Value Stream Mapping and Discrete Event Simulation,** in Proceedings of the Huntsville Simulation Conference, By the Society for Modeling and Simulation International, San Diego, CA., 2004.

DOSSENBACH, T ., **Implementing total productive maintenance,** Wood and Wood Products, 2006.Vol. 111 No. 2, pp. 29-32.

FELD, W. M., **Lean manufacturing: Tools, Techniques and How to Use Them.-** New York: The St. Lucie Press:, 2000.-228p.

FERRO, J. R. **A Essência da Ferramenta “Mapeamento do Fluxo de Valor”.** Lean Institute Brasil, 2005, Disponível em: https://www.lean.org.br/download/artigo_07.pdf. Acesso em 10/02/2010.

GARDNER, B., **Lean Transformation in Supply Chain, the autocatalytic Nature of Lean Principles, and Tactics for Implementing Lean Tools.** Submitted to the MIT Sloan School of Management and the Department of Aeronautics e astronautics in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degrees of Master of Business Administration and Master of Science in Aeronautics e astronautics N 22008 In conjunction with the Leaders for Manufacturing Program at Massachusetts Institute of Technology June 2008.

GILL, K. C., **Lean Concepts in Customer Care: Adding Value and Reducing Waste with Proactive Order Status Messaging.** Submitted to the Sloan School of Management and the Engineering Systems Division in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degrees of Master of Business Administration and Master of Science in Engineering Systems In conjunction with the Leaders for Manufacturing Program at the Massachusetts Institute of Technology June 2008.

GREEN, K. W; JR, R; INMAN, A. e BIROU, L. M., "Impact of JIT-selling strategy on organizational structure", Industrial Management e Data Systems, 2011.V. 111 Iss: 1, pp.63 – 83.

HARRELL, C. R.; GHOSH, B. K.; BOWDEN, R. e BOWDEN, R. O. ; **Simulation Using ProModel**, 2nd ed., New York:McGraw-Hill, 2004.

HASAN, S. e AL-HUSSEIN, M., **Advanced simulation of tower crane operation utilizing system dynamics modeling and lean principles**, Proceedings of the 2010 Winter Simulation ConferenceB. Johansson, S. Jain, J. Montoya-Torres, J. Hugan, and E. Yücesan, eds.

HINES, P.; FRANCIS, M. e FOUND, P. **Towards lean product lifecycle management. A framework for new product development.** Journal of Manufacturing Technology Management, 2006. v. 17, n. 7, p. 866-887.

HINES, P.; HOLWEG, M. e RICH, N. **Learnig to envolve. A review of contemporary lean thinking.** International Journal of Operations e Production Management, 2004. v. 24, n. 10, p. 994-1011.

HOLWEG M.,**The genealogy of lean production.**, Journal of Operations Management, 2007. 25, 420–437.

HWANG, D., **Performance Measurement System Design in a Semiconductor Supply Chain Organization**, Submitted to the MIT Sloan School of Management and the Engineering Systems Division in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degrees of Master of Business Administration and Master of Science in Engineering Systems In conjunction with the Leaders for Global Operations Program at the Massachusetts Institute of Technology June 2011.

JONES D. T., **From lean production to lean consumption-** Chairman; Lean Enterprise academy, UK, www, 2006.

JONES, D. e WOMACK, J. **Enxergando o Todo – Mapeando o Fluxo de valor Estendido.** São Paulo: Lean Institute Brasil, 2004.

KISBY, B. M., **Lean Visual Management In An Erp/Mes-Controlled Production Cell**, Submitted to the MIT Sloan School of Management and the Department of Engineering Systems in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degrees of Master of Business Administration and Master of Science in Engineering Systems In conjunction with the Leaders For Manufacturing Program at the Massachusetts Institute of Technology June 2009.

KURKIN, O. e ŠIMON, M.,**Optimization of Layout Using Discrete Event Simulation**, IBIMA Business Review

<http://www.ibimapublishing.com/journals/IBIMABR/ibimabr.html>, 2011. V, Article ID 180343, 10 pages, acesso em 02/11/2011.

LAMPARTER, S.; LEGAT, C.; LEPRATTI, R.; SCHARNAGL, J. e JORDAN, L. **Event-based Reactive Production Order Scheduling for Manufacturing Execution Systems.**, Preprints of the 18th IFAC World Congress Milano (Italy) August 28 - September 2, 2011.

LASA, I. S.; LABURU, C. O.e VILA, R. C. **An evaluation of the value stream mapping tool.** Business Process Management Journal, 2008. v. 14, n. 1, p. 39-52.

LE N.Q.L, DO N.H. e NAM K.C. **Modeling And Simulation Of A Lean System. Case Study Of A Paint Line In A Furniture Company** Management Research And Practice, 2010. Vol. 2 Issue 3 Pp: 284-298.

LEAN INSTUTITE BRASIL: Os 5 Princípios do Lean Thinking (Mentalidade Enxuta), http://www.lean.org.br/5_principios.aspx, acesso em 02/11/2011.

LEHTINEN, U.e TORKKO, M.,**The Lean Concept in the Food Industry: A Case Study of Contract a Manufacturer**, Journal of Food Distribution Research> November, 2005. Volume 36, Number 03,.

LIAN, Y. H., e VAN LANDEGHEM, H. **Analysing the Effects of Lean Manufacturing using a Value Stream Mapping-Based Simulation Generator.** International Journal of Production Research, 2007.45(13), 3037-3058.

LIKER, JEFFREY K. /**O Modelo Toyota: 14 Princípios de Gestão do maior fabricante do mundo** / Porto Alegre: Bookman, 2005. Pág.25 Capítulo 1.

MACHADO, M. C. **Princípios enxutos no processo de desenvolvimento de produtos: proposta de uma metodologia para implementação.** São Paulo, 2006.Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Produção, Universidade de São Paulo.

MANZINI, RICCARDO et al. **Simulation Performance in the Optimization of the Supply Chain.** Journal of Manufacturing Technology Management, 2006. V. 16, No. 2, pp.127-144.

MARCHWINSKI, C. E SHOOK, J.; **Léxico Lean: Glossário para praticantes do Pensamento Lean;** São Paulo: Lean Institute Brasil, 2007.

MARCONI, M. de a. e LAKATOS, E. M. **Fundamentos de metodologia científica.** 6.edição.São Paulo: Atlas, 2007. p. 83-265.

MCDONALD T.; VAN AKEN E.M. e RENTES A.F., **Utilizing simulation to enhance value stream mapping: A Manufacturing case application;** International Journal Of Logistics: Research and Applications , 2002.V.5, No 2,pp. 213-232.

MESQUITA, M, A.e CASTRO, R. L.,**Análise das práticas de planejamento e controle da produção em fornecedores da cadeia automotiva brasileira.** Gestão. E Produção, São Carlos, jan.-abr, 2008. V. 15, nº. 1, p. 33-42.

MIRALLES, C., HOLT, R., MARIN-GARCIA J. A. e CANOS-DAROS, L., **Universal design of workplaces through the use of Poka-Yokes: Case study and implications.** Journal of Industrial Engineering and Management, 2011.V.4, n° 3.

MOHAMED A. SHARARAH, K.S. EL-KILANY e EL-SAYED A. ,**Value Stream Map Simulator Using ExtendSim**, Proceedings of the World Congress on Engineering 2011. V. 1 WCE 2011, July 6 - 8, 2011, London, U.K.

MÖNCH, L., **Simulation-based benchmarking of production control schemes for complex manufacturing systems**, Control Engineering Practice, November 2007,V. 15, Issue 11, , pp 1381-1393.

MONDEN, Y. **Toyota Production system: an integrated approach to just-in-time.**3rd. Norcross, GA: Engineering e Management Press, 1998.

MOORE R., **Selecting the right manufacturing improvement tools.** Elsevier Science e Technology Books, 2006. ISBN: 0750679166.

NAVE, D. **How To Compare Six Sigma, Lean and the Theory of Constraints. Quality Progress**, V. 35, No. 3, MARCH 2002, pp. 73-78.

NAZARENO, R. R.; RENTES, A. F. e SILVA A. L. **Implantado técnicas e conceitos da produção enxuta integradas à dimensão de análise de custos.** São Paulo, 2009. Artigo Escola Politécnica da Universidade de São Carlos, Departamento de Engenharia de Produção, Universidade de São Paulo.

NEEDY, K.; NORMAN, B.e BIDANDA, B., **Worker assignment for cellular manufacturing**, Engineering Management Journal, paper presented at Manufacturing and Design Conference 2000, Vancouver, BC, pp. 2-18.

NEESE, M. **Driving Lean Through the Visual Factory.** Circuits Assembly , 2007. V.18 Issue 9, p56-57.

NOGUEIRA, M. G. S.,**Proposta de avaliação do nível de implementação de típicas práticas da produção enxuta em uma empresa do setor metal-mecânico**, Associação Brasileira de Engenharia de Produção – ABEPROM Universidade Federal de Santa Catarina ,Julho/2008.– UFSC www.producaoonline.ufsc.br ISSN 1676-1901 / V. 8,Nº. 2.

OHNO, T. **Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production.** Portland, OR: Productivity Press, 1988.

OLIVEIRA, C. S. **Aplicação de técnicas de simulação em projetos de manufatura enxuta.** Estudos Tecnológicos, V.4,nº .3, p.204-217, set/dez 2008.

OLIVEIRA, C. S. e PINTO, E. B.,**Lean manufacturing paradigm in the foundry industry**, Estudos Tecnológicos - set/dez., 2008.Vol. 4, n° 3: 218-230.

PINTO, E.B.e PINTO, L.R. **O uso da simulação como ferramenta de apoio à tomada de decisões em uma indústria siderúrgica: estudo de caso.** In: XXXVII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, Gramado, 2005. Anais... Gramado, p. 2231-2238.

PLENERT, G. Reinventing Lean: Introducing Lean Management into the Supply Chain. Butterworth – Heinemann, Elsevier Inc, 2007.

PROCESSMA: Process Mapping Symbols
http://www.processma.com/resource/process_mapping.htm, Acesso em 01/11/2011.

PROMODEL: Simulation Solutions for Lean Manufacturing.<
<http://www.promodel.com/solutions/manufacturing/>>, Acesso em 01/11/2011.

RAGHUNATHAN, RUBENSTEIN, K. L. e MILLER, M., Performance Metrics.
 ESD.60 Lean/Six Sigma Systems Lecture, Summer 2004.

RAJAKUMAR, S.; ARUNACHALAN, V.P.e SELLADURAI, V., Simulation of Workflow balancing in assembly shopfloor operations. Journal of Manufacturing Technology Management, 2005. V.16, nº.3,pp. 265-281.

RAMESH, V.; PRASAD K.V. S.e SRINIVAS, T.R.,Implementation of a Lean Model for Carrying out Value Stream Mapping in a Manufacturing Industry, Journal of Industrial and Systems Engineering, Fall 2008.V. 2, nº. 3, pp 180-196.

ROTHER M.e SHOOK J., Learning to see: Value stream mapping to add value and eliminate muda. 2 Edition, Brookline, MA; The Lean Enterprise Institute Inc, 1999.

ROTHER, M. e HARRIS R. Criando Fluxo Contínuo. Lean Institute Brasil. São Paulo: 2002. p.105.

SALGADO, E. G.; MELLO, C. H. P.; SILVA C. E. S.; OLIVEIRA, E.S. e ALMEIDA, D.A., Análise da aplicação do mapeamento do fluxo de valor na identificação de desperdícios do processo de desenvolvimento de produtos Gestão e Produção., São Carlos, jul.-set. 2009. V. 16, nº. 3, p. 344-356,

SAWHNEY, R.; TEPARAKUL, P.; ARUNA, B. e LI, X. En-lean: a framework to align lean and green manufacturing in the metal cutting supply chain. International Journal of Enterprise Network Management (IJENH), 2007, V.1, nº.3, pp.238-259.

SCHMENNER, R.W.e TATIKONDA, M.V., Manufacturing process flexibility revisited. International Journal of Operations and Production Management, 2005. V.25, nº.12, pp.1183-1189,

SETH, D.; SETH, N.e GOEL, D. Application of value stream mapping (MFV) for minimization of wastes in the processing side of supply chain of cottonseed oil industry in Indian context. Journal of Manufacturing Technology Management, 2008. V. 19, nº. 4, pp. 529-550

SHAH, R.e WARD, P. T.,Defining and developing measures of lean production, Journal of Operations Management 2007, V.25, pp. 785–805.

SHINGO, S. O Sistema Toyota de Produção: Do Ponto de Vista da Engenharia de Produção. Porto Alegre: Bookman, 1996.

SIMCHI-LEVI D., KAMINSKY P.e SIMCHI-LEVI E., Designing and managing the supply chain, concepts strategies and case studies. New York: McGraw-Hill, 2004.

SIMONS, D.e ZOKAEI, K. **Application of lean paradigm in red meat processing.** British Food Journal, 2005, V.107,nº.4.pp.192-211.

SINGH R. K.; CHOUDHURY, A.K.; TIWARI, M.K. e MAULL, R.S., **An Integrated Fuzzy-based Decision Support System for the Selection of Lean Tools a Case Study From the Steel Industry.** Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture October 1, 2006. V. 220 nº. 10, pp.1735-1749.

SOLDING, P. e GULLANDER, P., **Concepts for simulation based value stream mapping.** in Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference, Austin, Texas.

SOUZA, V. C., **Organização e Gerenciamento da Manutenção**, 3^a ed., São Paulo: All Print, 2009.

TOMELINA, M. e COLMENEROB, J. C., **Método para definição de layout em sistemas job-shop baseado em dados históricos.** Produção, abr./jun. 2010, v. 20, n. 2, p. 274-289.

TOYOTA MOTOR NORTH AMERICA, INC: NUMMI
<http://www.toyota.com/about/careers/nummi/>. Acesso em 02/11/2011.

VANPOUCKE, E.; BOYER, K. K.e VEREECKE, A., **Supply chain information flow strategies: an empirical taxonomy.** International Journal of Operations e Production Management, 2009. V. 29, Issue 12, pp.1213 – 1241.

WALSH, D., **Lean transformation of a supply chain organization**, Massachusetts Institute of Technology LFM Thesis, 2008.

WHITMAN, L.; UNDERDOWN, R.e AND DEESE, M., **A Physical Demonstration of Lean Concepts**, Proceedings of the Industrial Engineering Solutions Conference, May 21-23, 2001, Dallas, TX.

WOMACK J. **The meaning of Lean. Lean Directions.** Soc Manuf Eng. Jan 7, 2008.

WOMACK J.P.e JONES D.T., **Lean solutions: How companies and customers can create value and wealth together;** New York, Free Press, 2005.

WOMACK J.P.e JONES D.T., **Lean thinking: Banish waste and create wealth in your corporation;** New York:Simon e Schuster, 1998.

WOMACK J.P.; JONES D.T.e ROOS D., **The machine that changed the world: The story of lean production;** New York: Simon e Schuster, 1990.

YANG-HUA, L.e VANLANDEGHEM H., **An application of simulation and value stream mapping in lean manufacturing.** Proceedings 14th European Simulation Symposium; October 23-26, 2002. Dresden, Germany; 300-307.

YIN, R. **Estudo de caso. Planejamento e métodos.** 3 ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.
