

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**AVALIAÇÃO DO USO DE SIMULAÇÃO COMO FERRAMENTA  
COMPLEMENTAR NO DESENVOLVIMENTO DO MAPEAMENTO DO FLUXO  
DE VALOR FUTURO.**

**TATIANY DA ROCHA PAÇO**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**AVALIAÇÃO DO USO DE SIMULAÇÃO COMO FERRAMENTA  
COMPLEMENTAR NO DESENVOLVIMENTO DO MAPEAMENTO DO FLUXO  
DE VALOR FUTURO.**

**Tatiany da Rocha Paço**

**Dissertação de Mestrado apresentada  
ao Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia de Produção da  
Universidade Federal de São Carlos,  
como parte dos requisitos para a  
obtenção do título de Mestre em  
Engenharia de Produção.**

**Orientador: Prof. Dr. Paulo Rogério Politano**

**SÃO CARLOS  
2006**

**Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da  
Biblioteca Comunitária da UFSCar**

P121au

Paço, Tatiany da Rocha.

Avaliação do uso de simulação como ferramenta complementar no desenvolvimento do mapeamento do fluxo de valor futuro / Tatiany da Rocha Paço. -- São Carlos : UFSCar, 2006.

110 p.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal de São Carlos, 2006.

1. Administração da produção. 2. Simulação. 3. Mapeamento do fluxo de valor. 4. Produção enxuta. I. Título.

CDD: 658.5 (20<sup>a</sup>)



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO  
Rod. Washington Luís, Km. 235 - CEP. 13565-905 - São Carlos - SP - Brasil  
Fone/Fax: (016) 3351-8236 / 3351-8237 / 3351-8238 (ramal: 232)  
Email : ppgep@dep.ufscar.br

## FOLHA DE APROVAÇÃO

Aluno(a): Tatiany da Rocha Paço

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DEFENDIDA E APROVADA EM 05/10/2006 PELA  
COMISSÃO JULGADORA:

Prof. Dr. Paulo Rogério Politano  
Orientador(a) DC/PPGEP/UFSCar

Prof. Dr. Moacir Godinho Filho  
PPGEP/UFSCar

Prof. Dr. Néocles Alves Pereira  
PPGEP/UFSCar

Prof. Dr. Antônio Freitas Rentes  
EESC/USP

---

Prof. Dr. Alceu Gomes Alves Filho  
Coordenador do PPGEP

## **DEDICATÓRIA**

**Aos meus queridos pais, Newton e Ildjan,  
aos meus irmãos Hebert e Harleny,  
ao Sérgio e meus familiares  
pelo grande apoio.**

## AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Paulo Rogério Politano, não só pela orientação, mas também pela dedicação, incentivo e amizade concedidos durante o desenvolvimento da dissertação.

Aos professores e membros da banca examinadora, Neócles Alves Pereira, Moacir Godinho Filho e Antônio Freitas Rentes, pelas correções, sugestões e apoio indispensáveis a este trabalho.

Aos professores e funcionários do Departamento de Engenharia de Produção da Universidade Federal de São Carlos, que muito colaboraram para conclusão deste trabalho. Em especial: Professor Neócles, Raquel e Leandro.

Aos meus pais pelo apoio incondicional, ao meu irmão Hebert pelos abraços carinhosos que me deram tanta força para continuar e a minha irmã Harleny pela lição de vida.

Ao Sérgio meu namorado e acima de tudo companheiro, pelo amor, incentivo e paciência.

A todos que apoiaram a minha família no momento que estive ausente em especial: meus familiares e a Suênia.

As minhas eternas amigas de Goiânia: Patrícia Chaves, Shelley Castro Mesquita, Juliana Nunes e Maria Cecília Marques que sempre estiveram nos momentos mais importantes da minha vida.

As minhas amigas, companheiras, irmãs e agregadas de república: Fernanda Freitas, Ludmila Cerqueira, Mariana Lupi, Karine Araújo, Luana Borges, Carolina Lupi, Gisele Chaves e Leila Souza.

As minhas amigas e amigos que encontrei nessa caminhada: Juliana Gimenes, Fabíola Pimenta, Fernanda Carneiro, Márcia Mitiko, Cíntia Pedrino e Robson Pizzi, Fernanda Rodrigues e Tia Rosa, Jean Domingues, Vivian Bianchini, Vera Viana, Lyda Patrícia, Cristina, Priscilla Ribeiro, Stella, Ana Beatriz Lopes.

E acima de tudo a Deus que colocou na minha vida essas pessoas maravilhosas que tanto carinho dedicara a mim.

Muito Obrigada!!!

*“Uma descoberta seja feita por um menino na escola ou por um cientista trabalhando na fronteira do conhecimento é em sua essência uma questão de reorganizar ou transformar evidências, de tal forma que se possa ir além delas assim reorganizadas, rumo a novas percepções”.*

*(Jerone Bruner)*

## RESUMO

As empresas estão inseridas em um ambiente globalizado tornando o mercado cada vez mais competitivo. O Sistema de Produção Enxuta é importante para que as empresas possam obter vantagem competitiva.

O Mapeamento do Fluxo de Valor é uma ferramenta essencial utilizada no Sistema de Produção Enxuta que utiliza um mapa atual e futuro dos processos. Devido ao seu aspecto estático e para obter dados mais acurados observou-se a importância de pesquisar como a simulação computacional pode auxiliar no desenvolvimento do Mapeamento do Fluxo de Valor Futuro.

Esta pesquisa descreve as etapas do desenvolvimento de um modelo computacional, em um software de simulação, tendo como característica principal a representação do Sistema de Produção Enxuta.

Os cenários construídos para o modelo desenvolvido nesta pesquisa contribuíram para encontrar a quantidade de peças produzidas, dimensionamento dos supermercados considerando o tempo de *setup*, o tempo de operação e paradas das máquinas, mostrando que simulação é uma ferramenta útil para auxiliar na construção do Mapeamento do Fluxo de Valor Futuro.

Palavras-Chave: Sistema de Produção Enxuta, Mapeamento do Fluxo de Valor e Simulação Computacional.

## **ABSTRACT**

Nowadays companies are part of a global environment, which makes the market more competitive. In this context, the lean production system is very important for companies to become more efficient and therefore competitive.

The value stream marketing is an essential tool used in the lean production system that uses an updated and a future map of process. The stationary aspect of this tool coupled with the need to obtain more accurate data highlighted the importance of computer simulations to assist in the development of value stream mapping.

The present work describes all the steps of the development of a computer model in simulation software. The main aspect of it is the representation of the lean production system.

The different sceneries built for the model developed in this work contributed to find the number of produced parts, dimensions of the supermarket considering the setup timing, the time of the operation, and planned or unplanned pauses of the machines. Therefore, it demonstrated that the simulation is a very useful tool to assist in the construction of the value stream mapping.

**Key words:** lean production, value stream mapping, computer simulation.

## LISTA DE FIGURAS

<b>FIGURA 1.1 – Estratégia de Pesquisa e os tipos que podem ser feitas.....</b>	<b>14</b>
<b>FIGURA 1.2 – Estrutura Geral da Dissertação .....</b>	<b>19</b>
<b>FIGURA 2.2 – Etapas do Mapeamento do Fluxo de Valor.....</b>	<b>33</b>
<b>FIGURA 2.1 – Sistemas de puxar e de empurrar .....</b>	<b>40</b>
<b>FIGURA 3.1 - Etapas em um processo de Simulação.....</b>	<b>66</b>
<b>FIGURA 4.1 – Mapeamento do Fluxo de Valor.....</b>	<b>75</b>
<b>FIGURA 4.2 – Ícones do Mapeamento do Fluxo de Valor.....</b>	<b>76</b>
<b>FIGURA 4.3 – Esboço do Sistema .....</b>	<b>78</b>
<b>FIGURA 4.3 – Interface do Modelo Computacional .....</b>	<b>82</b>
<b>FIGURA 4.4 – Mapeamento do Fluxo de Valor do Cenário 2.....</b>	<b>90</b>

## **LISTA DE QUADROS**

<b>QUADRO 1.1 – Síntese do Método Científico .....</b>	<b>6</b>
<b>QUADRO 2.1 – Comparação entre Produção Empurrada e Puxada.....</b>	<b>41</b>
<b>QUADRO 2.2 – Orientação para determinar o número de operadores .....</b>	<b>60</b>

## LISTA DE TABELAS

<b>TABELA 4.1 – Dados de entrada referentes às estações de trabalho .....</b>	<b>79</b>
<b>TABELA 4.2 – Dados de entrada e saída referentes ao cenário 1.....</b>	<b>87</b>
<b>TABELA 4.3 – Dados de saída referentes ao cenário 2.....</b>	<b>88</b>
<b>TABELA 4.4 – Dados de saída referentes ao cenário 3.....</b>	<b>88</b>
<b>TABELA 4.5 – Dados de saída referentes ao cenário 4.....</b>	<b>89</b>
<b>TABELA 4.6 – Dados de entrada e saída referentes ao cenário 5.....</b>	<b>91</b>
<b>TABELA 4.7 – Dados de entrada e saída referentes ao cenário 6.....</b>	<b>92</b>
<b>TABELA 4.8 – Dados de entrada e saída referentes ao cenário 7.....</b>	<b>93</b>

## LISTA DE SIGLAS

C/O	Change of Operations ou <i>Setup</i>
JIT	Just in time
MFV	Mapeamento do Fluxo de Valor
MP	Matéria-Prima
MRP	Material Requeriment Planning ou Planejamento das Necessidades de Materiais
OC	Ordens de Compra
OF	Ordens de Fabricação
OM	Ordens de Montagem
UO	Utilização de Operadores
PA	Produto Acabado
PCP	Planejamento e Controle da Produção
PMP	Plano Mestre de Produção
T/C	Tempo de Ciclo
STP	Sistema Toyota de Produção
WIP	Work in Process ou Estoque em Processo

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
1.1 Apresentação .....	1
1.2 Objetivos do trabalho .....	5
1.3 Hipótese de Pesquisa.....	5
1.4 Método Científico .....	6
1.4.1 Método de Abordagem.....	7
1.4.2 Abordagem da Pesquisa .....	8
1.4.3 Métodos de Procedimento de Pesquisa .....	10
1.4.4 Desenvolvimento da Pesquisa.....	16
1.4.5 Análise dos resultados.....	17
1.4.6 Contribuição Esperada .....	17
1.5 Estrutura Geral da Dissertação.....	19
<b>2. PRODUÇÃO ENXUTA</b> .....	<b>20</b>
2.1 A evolução da Manufatura Artesanal à Produção Enxuta .....	20
2.2 Conceitos de Produção Enxuta.....	23
2.3 Princípios Enxutos .....	28
2.4 Ferramentas usadas para a implementação da Produção Enxuta.....	29
2.4.1 Mapeamento do Fluxo de Valor.....	30
2.4.2 <i>Just in Time</i> .....	36
2.4.3 Produção Puxada.....	37

2.4.3.1 Comparação entre Produção Empurrada e Puxada .....	39
2.4.4 <i>Kanban</i> .....	41
2.4.5 Produção Nivelada .....	47
2.4.6 <i>Layout</i> Celular .....	48
2.4.7 <i>Takt Time</i> .....	52
2.4.8 Tempo de Ciclo .....	56
2.4.9 Demanda .....	57
2.4.10 Supermercado .....	58
2.4.11 Número de Operadores e Quantidade de Máquinas .....	59
<b>3. SIMULAÇÃO .....</b>	<b>61</b>
3.1 Conceitos de Simulação .....	61
3.2 Produção Enxuta e Simulação: uma análise do campo de estudo .....	64
3.3 Etapas da Simulação .....	66
<b>4. ESTUDO DA APLICAÇÃO DE UM MODELO DE SIMULAÇÃO EM UM AMBIENTE DE PRODUÇÃO ENXUTA .....</b>	<b>71</b>
4.1 Formulação e Análise do Problema .....	72
4.2 Planejamento do Projeto .....	76
4.3 Formulação do Modelo Conceitual .....	77
4.4 Coleta de Macro-Informações e Dados .....	79
4.5 Tradução do Modelo .....	80
4.6 Verificação e Validação .....	82

4.7 Projeto Experimental Final .....	83
4.8 Experimentação.....	84
4.9 Interpretação e Análise Estatística dos dados .....	84
4.10 Comparação de Sistemas e Identificação das Melhores soluções, Documentação e Apresentação dos Resultados e Implementação .....	86
<b>5. CONCLUSÕES .....</b>	<b>94</b>
5.1 Limitações da Pesquisa .....	95
5.2 Sugestões.....	95
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>97</b>
<b>ANEXO .....</b>	<b>102</b>

## **1. INTRODUÇÃO**

Esse capítulo apresenta o tema a ser estudado e a justificativa desta pesquisa. Bem como os objetivos, a hipótese e o método científico da pesquisa para atingir os objetivos traçados. O capítulo finaliza com a estrutura proposta da dissertação.

### **1.1 Apresentação**

A interação da globalização com as novas tecnologias e a organização da produção tem alterado a posição das empresas dentro do mercado. Devido às exigências do mercado, a análise das estratégias competitivas tem se tornado um item fundamental para o sucesso da empresa. Nesse contexto, Planejamento e Controle da Produção (PCP) tem grandes implicações no cenário global de uma organização.

O propósito do planejamento e controle da produção, segundo Slack *et al.* (2002), é garantir que a produção ocorra eficazmente e produza produtos e serviços como deve. Isto requer que os recursos estejam disponíveis: na quantidade, no momento e no nível de qualidade adequado.

O sistema produtivo presente é composto pela conciliação entre Planejamento e Controle da Produção e as adaptações ao desenvolvimento da Gestão da Produção, adequando se aos cinco objetivos de desempenho de produção citados por Slack *et al.* (2002): Qualidade, Rapidez, Confiabilidade, Flexibilidade e Custos. O desenvolvimento da Gestão da Produção se deu através das evoluções que aconteceram nos paradigmas do sistema produtivo que foram marcados pelas eras da manufatura, algumas delas intituladas como: Produção artesanal, Produção em Massa e Produção Enxuta.

A produção artesanal foi desenvolvida na década de 1880, como apresentava inúmeros problemas tais como: velocidade na entrega e confiabilidade, com o passar do tempo técnicas foram surgindo para solucioná-los. Em 1908, Ford lançou o modelo T, iniciando a produção em massa, onde a produção era feita em grande quantidade e de forma padronizada, tendo o seu apogeu em 1955. O Sistema de Produção Enxuta surgiu quando Ohno gerente de produção da Toyota descobriu que o custo por peça prensada era menor na produção de pequenos lotes do que no processamento de lotes imenso. A partir desse momento estudos foram sendo feitos e o Sistema de Produção Enxuta se tornou realidade nas empresas.

O Sistema Toyota de Produção (STP) foi introduzido por Taiichi Ohno, conhecido depois como Sistema de Produção Enxuta, tem como objetivo fundamental aumentar a eficiência da produção através da eliminação consistente, completa e constante do desperdício.

Observando a importância do Sistema de Produção Enxuta para que as empresas possam obter elevados níveis de produtividade e qualidade, ajudando também na obtenção de vantagens competitivas para a produção, surgiu o interesse de estudar sobre os conceitos pertinentes a esse sistema.

Uma ferramenta utilizada na Produção Enxuta é o Mapeamento do Fluxo de Valor, que descreve em detalhes o fluxo de materiais e informações da produção de uma família de produto necessário para satisfazer a demanda dos clientes. O mapeamento é dividido em mapa do estado atual, que descreve o que está acontecendo com o fluxo de valor presente da empresa para que seja possível analisar o processo, fazendo melhorias

contínuas, através da identificação e eliminação dos desperdícios construindo o mapa do estado futuro com uma visão do fluxo de valor ideal ou pelo menos melhorado.

Segundo McDonald et al. (2002) em alguns casos o desenvolvimento do estado futuro pode ser realizado rapidamente usando as recomendações sugeridas por Rother e Shook (1999), mas em outros casos devido a natureza estática do Mapeamento do Fluxo de Valor, ferramentas tal como simulação que oferecem dinamicidade ao processo de manufatura pode ser usada para auxiliar na construção do mapa futuro.

Nesta pesquisa é proposto a utilização da simulação computacional para possibilitar de forma mais rápida e precisa a construção do Mapeamento do Estado Futuro.

No Mapeamento do Estado Futuro tem-se como tempo de referência o *takt time*, pois no Sistema de Produção Enxuta utiliza-se o tempo *takt* como parâmetro base para a sincronização da produção. *Takt Time* é definido por alguns autores como o ritmo de produção necessário para atender a demanda do cliente.

Informações como a quantidade de peças que podem ser produzidas pela linha, o dimensionamento dos supermercados, os tempos de processamento e de *setup* de cada estação de trabalho, paradas de máquinas, número de operadores disponíveis, e outras, podem necessitar de uma análise mais detalhada para a construção do Mapeamento do Fluxo de Valor, pois essas informações podem conter imprecisões decorrentes das incertezas de um ambiente de produção. A análise dessas informações, através da simulação computacional, fornece um meio de avaliar a acuracidade desses dados.

A utilização de simulação computacional justifica-se também pelo fato que simular alterações do comportamento de uma linha de produção pode ser útil no planejamento e implementação de melhorias.

As perguntas que norteiam a pesquisa são:

- Utilizando simulação computacional é possível desenvolver um modelo que represente dinamicamente o Mapeamento do Fluxo de Valor?
- Com este modelo podem-se obter os valores das seguintes variáveis: quantidade de peças que podem ser produzidas, o dimensionamento dos supermercados considerando o tempo de *setup* e o tempo de operação e paradas programadas ou não das máquinas? Estes valores podem auxiliar na construção do Mapeamento do Fluxo de Valor Futuro?
- O modelo desenvolvido pode contribuir para ensinar engenheiros e estudantes sobre como funciona o sistema de produção puxado, sendo as atividades de programação da produção operacionalizadas pelo sistema *Kanban*?

A pesquisa foi realizada com um modelo de um ambiente de Produção Enxuta de uma empresa cujos dados foram retirados em um artigo da literatura. Foi construído um modelo de simulação computacional para auxiliar no mapeamento de fluxo de valor futuro. Por meio deste modelo computacional analisou-se a quantidade de peças produzidas, o dimensionamento dos supermercados considerando o tempo de *setup*, o tempo de operação e paradas das máquinas.

## 1.2 Objetivos do trabalho

Esta pesquisa tem como objetivo:

- Avaliar o uso de simulação como ferramenta complementar para auxiliar no desenvolvimento do Mapeamento do Fluxo de Valor Futuro analisando a quantidade de peças produzidas, o dimensionamento dos supermercados considerando o tempo de *setup*, o tempo de operação e paradas programadas ou não das máquinas, por meio do desenvolvimento de um modelo de simulação que possa representar as características de um Sistema de Produção Enxuta.

## 1.3 Hipótese de Pesquisa

Segundo Vergara (2000), as hipóteses são a antecipação da resposta ao problema e a sua investigação é realizada de modo a confirmar ou refutar a hipótese.

Esta pesquisa tem como hipótese que:

- A simulação computacional auxiliará na verificação da quantidade de peças produzidas, do dimensionamento dos supermercados considerando o tempo de *setup*, o tempo de operação e paradas programadas ou não das máquinas, sendo, portanto uma ferramenta complementar no desenvolvimento do Mapeamento do Fluxo de Valor Futuro.

#### **1.4 Método Científico**

Segundo Lakatos e Marconi (2000), a ciência é uma sistematização de conhecimentos, um conjunto de proposições logicamente correlacionadas sobre o comportamento de certos fenômenos que se deseja estudar. Porém não há desenvolvimento de ciência sem o emprego de métodos. “Método é a forma de proceder ao longo de um caminho. Na ciência os métodos constituem os instrumentos básicos que ordenam de início o pensamento em sistemas, traçando de modo ordenado à forma de proceder do cientista ao longo de um percurso para alcançar um objetivo”.

Logo, o presente item apresenta os conceitos de: métodos de abordagem, abordagens de pesquisa, métodos de procedimentos, os instrumentos de pesquisa e a análise dos dados. E qual tipo de cada um deles é mais adequado para ser usado na pesquisa. A síntese do método de pesquisa adotado nesta dissertação está no quadro 1.1 e a descrição mais detalhada de cada conceito está nos subcapítulos seguintes.

#### **QUADRO 1.1 – Síntese do Método Científico**

<b>Síntese do Método Científico</b>
Método de Abordagem: Programa de Pesquisa Lakatos
Abordagem de Pesquisa: Quantitativa
Métodos de Procedimento de Pesquisa: Simulação Computacional

### 1.4.1 Método de Abordagem

De acordo com Lakatos e Marconi (2000), o método de abordagem é aquele que fornece base lógica à investigação, que utiliza uma abordagem mais ampla, em nível de abstração mais elevado, dos fenômenos da natureza e da sociedade.

Para Chalmers (1995) o método de abordagem engloba o indutivismo, o dedutivismo, o falsificacionismo, Lakatos e Kuhn, os quais serão descritos a seguir segundo a visão deste mesmo autor.

Para o indutivista as condições que devem ser satisfeitas são: o número de observações que formam a base de uma generalização deve ser amplo e as observações devem ser repetidas sob uma ampla variedade de condições; nenhuma proposição de observação deve conflitar com a lei universal derivada.

No dedutivismo, um cientista tem leis e teorias universais à sua disposição, é possível derivar delas conseqüências como explicações e previsões, ou seja, fazendo-se uma análise do geral ao particular chega-se a uma conclusão.

Para o falsificacionista, a observação é orientada pela teoria e a pressupõe. Neste método de abordagem a ciência é definida como um conjunto de hipóteses que são experimentalmente propostas com a finalidade de descrever ou explicar acuradamente o comportamento de algum aspecto do universo.

A metodologia dos programas de pesquisa científica de Lakatos fornece uma orientação para a pesquisa futura da seguinte forma:

Negativa - estipula que as suposições básicas subjacentes ao programa, seu núcleo irreduzível não deve ser rejeitadas ou modificadas quanto positiva.

Positiva - indica como pode ser desenvolvido o programa de pesquisa, suplementando o núcleo irreduzível com suposições adicionais numa tentativa de explicar fenômenos previamente conhecidos e prever fenômenos novos. A teoria da ciência de Kuhn tem como característica-chave a ênfase dada ao caráter revolucionário do progresso científico.

Na pesquisa foi utilizado o método de abordagem de Lakatos, pois existem estudos sobre a utilização de simulação para auxiliar na construção do mapeamento do fluxo de valor futuro, que formam o núcleo irreduzível e este será suplementado com suposições adicionais. Não teve uma abordagem: indutivista, pois não será feito um número grande de observações, sob uma ampla variedade de condições; falsificacionista, pois não foram falseadas teorias e substituí-las por outras melhores; da teoria de Kuhn porque não foi proposta uma teoria revolucionária.

#### **1.4.2 Abordagem da Pesquisa**

Segundo Lakatos e Marconi (2000), a abordagem de pesquisa é a conduta que orienta o processo de pesquisa, é uma forma de aproximação e de focalização do problema ou fenômeno que se pretende estudar. Para Creswell (1994) a abordagem de pesquisa pode ser: quantitativa, qualitativa ou a combinação das duas.

Segundo Bryan (1989), as características de uma pesquisa qualitativa são:  
Maior ênfase na interpretação;

- A pesquisa da um forte senso do contexto;
- Proximidade do pesquisador ao fenômeno organizacional;

- Abordagem não estruturada;
- A investigação emprega três fontes principais de dados: observação participante, entrevista/conversaão transcrita e documentos;
- Amostras pequenas e profundas;
- Procura obter e reter proximidade para o fenômeno no qual está inserido.

Enquanto os aspectos relevantes da pesquisa quantitativa para Bryan (1989), são:

- Ênfase na interpretação é menos pronunciada, onde pesquisadores estabelecem os parâmetros do que é interessante e importante para eles ao invés do assunto;
- Pouca atenção ao contexto;
- Estrutura rigorosa, na qual dados serão coletados;
- Tende a usar uma fonte só de dados;
- Amostras grandes e abrangentes;
- O pesquisador pode não ter envolvimento nas organizações;
- Tipos: participação total, semi-participação, entrevista baseada, multi-local.

Comparando as duas abordagens está pesquisa deu enfoque à abordagem quantitativa, pois os dados foram coletados a partir de uma só fonte de dados, o pesquisador não estava presente em uma organização, à pesquisa dará pouca atenção ao contexto da organização, o pesquisador estabeleceu o que é importante para ele, teve uma preparação

rigorosa de uma estrutura, na qual os dados serão coletados e irá lidar menos com os aspectos processuais da realidade organizacional.

### **1.4.3 Métodos de Procedimento de Pesquisa**

Para Lakatos e Marconi (2000) os métodos de procedimento de pesquisa constituem etapas mais concretas da investigação, com finalidade mais restrita em termos de explicação geral dos fenômenos menos abstratos. Algumas dos métodos apresentados por Bryan (1989) são os seguintes: *survey*, estudo de caso, pesquisa ação e simulação.

Segundo Yin (2001) o que distingue os procedimentos são três condições: O tipo de questão de pesquisa, a extensão do controle que um investigador tem sobre eventos comportamentais atuais e o grau do foco no contemporâneo enquanto oposto aos eventos históricos.

Segundo Forza (2002), um *survey* envolve a coleção de informações a partir de indivíduos (através de questionários enviados pelo correio, telefonemas, entrevistas pessoais, etc) sobre eles mesmos ou sobre a unidade social a que eles pertencem. O processo de amostragem do *survey* determina informações sobre uma população grande com um nível de conhecimento acurado.

O estudo de caso é uma estratégia preferida quando: questões de “como” e “porque” são apresentadas; o investigador tem pouco controle sobre os eventos; o foco é um fenômeno contemporâneo com algum contexto da vida real. Estudo de caso explanatório pode ser complementado por: estudo de caso exploratório e descritivo (YIN, 2001).

Segundo Thiollent (1997), a pesquisa-ação no contexto da atuação sociopolítica, trata-se de uma pesquisa cuja finalidade consiste em esclarecer os objetivos, as implicações da ação ou as condições de mobilização requeridas para o êxito da ação. Enquanto, no contexto da atuação profissional, a pesquisa deve ser conduzida de modo que seja predeterminado pelos interesses dominantes que atravessam a organização. Os resultados da pesquisa não devem ser utilizados para fins particulares e os relacionamentos requerem um espaço de discussão democrática. Tipos de investigações: pura, diagnóstica exploratória e confrontativa. O desafio da pesquisa-ação consiste em desenvolver a instrumentalidade sem excluir o espírito crítico.

Para Berends e Romme (1999), simulação é definida como a construção de um modelo de processo e a experimentação com a replicação deste processo pela manipulação das variáveis e suas inter-relações dentro do modelo. Abordagem de geração de conhecimento racional com modelos objetivos que explicam o comportamento dos processos operacionais da vida real.

Existem dois tipos de simulação: física ou matemática, sendo que esta última pode ser feita de duas maneiras: analítica ou numérica (determinística ou estocástica). Pode-se classificar a pesquisa baseada no modelo de gestão de operações em duas classes distintas a primeira é chamada de axiomática e a segunda de empírica. Esses dois tipos de pesquisas podem ser: descritiva ou normativa (BERENDS ; ROMME, 1999).

Nessa pesquisa não foram utilizadas as estratégias de pesquisa *survey*, estudo de caso e pesquisa ação. Um dos fatores necessário para realização de um *survey* é o tamanho da população, logo seriam necessárias várias empresas que utilizem os conceitos e ferramentas do Sistema de Produção Enxuta estudados nessa pesquisa. Além disso, seria

complexo fazer as alterações necessárias na linha de produção das empresas para o desenvolvimento da pesquisa, logo haveria dificuldades para chegar-se a um resultado por meio da utilização de um *survey*. O estudo de caso estuda eventos contemporâneos dentro de um contexto da vida real, a falta de empresas que utilizam tal sistema e a impossibilidade de implementar os sistema, foi o que excluiu a possibilidade de usar essa estratégia. Já a pesquisa-ação tem a necessidade de profunda interação entre o pesquisador e a empresa, bem como seu envolvimento juntamente com os membros da organização para resolver o problema, o que dificultou a sua utilização.

Pelas características descritas das estratégias de pesquisa acima e baseado na escolha da abordagem de pesquisa, esse estudo utilizou simulação. De acordo com Berends e Romme (1999), ferramentas de simulação permitem ao experimentador estudar processos de maneiras proibidas na natureza, pois a simulação pode ser rodada muitas vezes com os valores dos parâmetros modificados entre rodadas e as mudanças nos resultados observados. As possibilidades de experimentos com variáveis que podem ser manipuladas são úteis na pesquisa de gestão porque fatores morais e físicos geralmente proíbem experimentos com pessoas, sistemas e organizações reais.

Vários modelos podem ser feitos de um mesmo sistema de produção sendo que cada um deles irá focar no seu objetivo. Segundo Kelton et al. (1998) um modelo é a representação da realidade expressa em termos de formalismo, com a finalidade de representar os fluxos de dados, equipamentos e outros componentes de um sistema para servir como base para a montagem de um modelo de simulação. Dois exemplos de modelos são:

- Modelos físicos – necessitam de experimentos com objetos reais que agem como modelos de alguns sub conjuntos da realidade, como por exemplo os simuladores de vôo para treinar pilotos.
- Modelos matemáticos – são conjuntos de aproximações e hipóteses sobre a forma de como o sistema funciona ou como funcionará e as relações de um sistema são expressas em fórmulas matemáticas, o que resultou na escolha desse tipo de modelo.

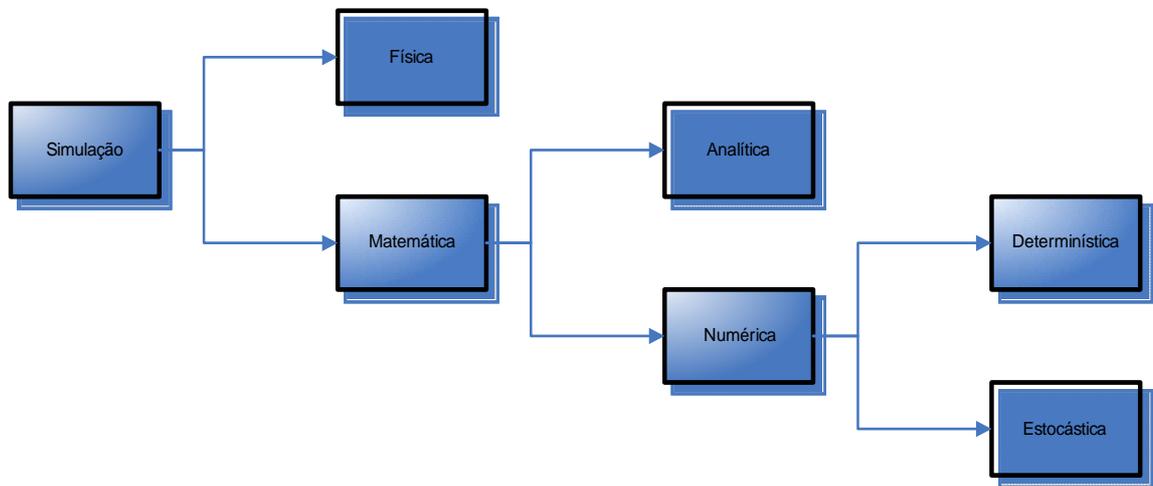
Os modelos matemáticos podem ser feitos de duas maneiras:

- Analiticamente – o modelador será capaz de derivar uma solução ótima.
- Numericamente – que lida com o comportamento dos sistemas e nem tanto com soluções ótimas. A qual será utilizada nessa pesquisa.

Os modelos numéricos podem ser feitos de dois tipos:

- Determinístico – que necessita fixar os valores dos parâmetros, a qual foi utilizada nessa pesquisa.
- Estocástico – que utiliza algum tipo de função de distribuição como entrada para variáveis.

A figura 1 mostra um esquema que contém a estratégia de pesquisa utilizada no trabalho (simulação) e os tipos de simulação que podem ser feitas, destacando as que foram escolhidas.



**FIGURA 1.1 – Estratégia de Pesquisa e os tipos que podem ser feitas.**

Segundo Berends e Romme (1999), a validação dos modelos de simulação é necessária se queremos aplicar esses modelos no contexto científico e se queremos obter entendimento real do sistema sob estudo. A validação pode ser feita de duas maneiras:

- Estrutural - onde o pesquisador deve checar se seu modelo está de acordo com o senso comum dos atores dentro do sistema estudado.
- Comportamental - que consiste em primeiro testar empiricamente as relações assumidas e segundo checar se os padrões do modelo estão de acordo com os padrões encontrados no sistema real.

O modelo computacional construído nesta pesquisa baseou-se em um ambiente de Gestão Operacional. De acordo com Bertran e Frasoo (2002), Gestão Operacional é definida como o processo de projeto, planejamento e controle da execução das operações nas indústrias de manufatura e de serviços. Pode-se classificar a pesquisa baseada no modelo de Gestão de Operações em duas classes distintas.

- Axiomática – dirigida pelo próprio modelo, ou seja, idealizada. Nesta classe, o interesse primário do pesquisador é obter soluções dentro do modelo definido e ter certeza que estas soluções fornecem percepções da estrutura do problema como definido dentro do modelo.
- Empírica – dirigida por conclusões e medidas empíricas. Nesta classe, o interesse do pesquisador é assegurar que existe um modelo adequado entre observações e ações na realidade e o modelo feito desta realidade. A pesquisa será empírica, pois o modelo será feito baseado na realidade.

Para Bertran e Frasoo (2002) a pesquisa empírica pode ser:

- Descritiva – interessada em criar um modelo que descreva adequadamente as relações causais que podem existir na realidade, as quais conduzem ao entendimento dos processos.
- Normativa – interessada em desenvolver políticas, estratégias e ações para melhorar a situação atual.

Esta é uma pesquisa quantitativa usando simulação que baseou-se em um modelo empírico. Segundo Bertran e Frasoo (2002) para conduzir uma pesquisa quantitativa de gestão de operações, baseada no modelo empírico, deve-se:

- Identificar as suposições básicas a respeito do processo operacional fundamental para os modelos ou problemas teóricos;

- Identificar o tipo de processo operacional e o tipo de problema de decisão a respeito do processo operacional, para o qual as suposições básicas são supostas a aplicar;
- Desenvolver as definições operacionais do processo operacional e o sistema de decisão;
- Derivar, das suposições básicas, hipóteses a respeito do comportamento do processo operacional;
- Desenvolver uma maneira objetiva de fazer medidas ou de fazer observações;
- Aplicar os sistemas de medida e observação e coletar e documentar os dados resultantes;
- Interpretar os dados e observações em relação às hipóteses, o qual irá incluir o uso da análise estatística;
- Confirmar e/ou rejeitar as suposições do modelo teórico.

#### **1.4.4 Desenvolvimento da Pesquisa**

##### 1. Revisão bibliográfica sobre:

- A evolução dos Sistemas Produtivos.
- Alguns conceitos, princípios e ferramentas usados no Sistema de Produção Enxuta focando no Mapeamento do Fluxo de Valor
- Simulação Computacional.

- Estudos realizados sobre simulação computacional em um ambiente que se utiliza o Sistema de Produção Enxuta.

2. Coleta de dados de um artigo que contém o mapeamento do fluxo de valor futuro de uma empresa que utiliza os conceitos, princípios e ferramentas estudados na revisão bibliográfica do Sistema de Produção Enxuta e elaboração do modelo computacional para representá-lo.

3. Por meio do modelo computacional construído analisou a quantidade de peças produzidas, do dimensionamento dos supermercados considerando o tempo de *setup*, do tempo de operação e paradas programadas ou não das máquinas, podendo então avaliar o uso de simulação como ferramenta complementar para auxiliar no desenvolvimento do Mapeamento do Fluxo de Valor Futuro

4. Análise e interpretação dos dados.

#### **1.4.5 Análise dos resultados**

Para análise dos resultados foram considerados os dados obtidos nos cenários realizados na simulação. Estes resultados foram colocados em tabelas e analisados teoricamente.

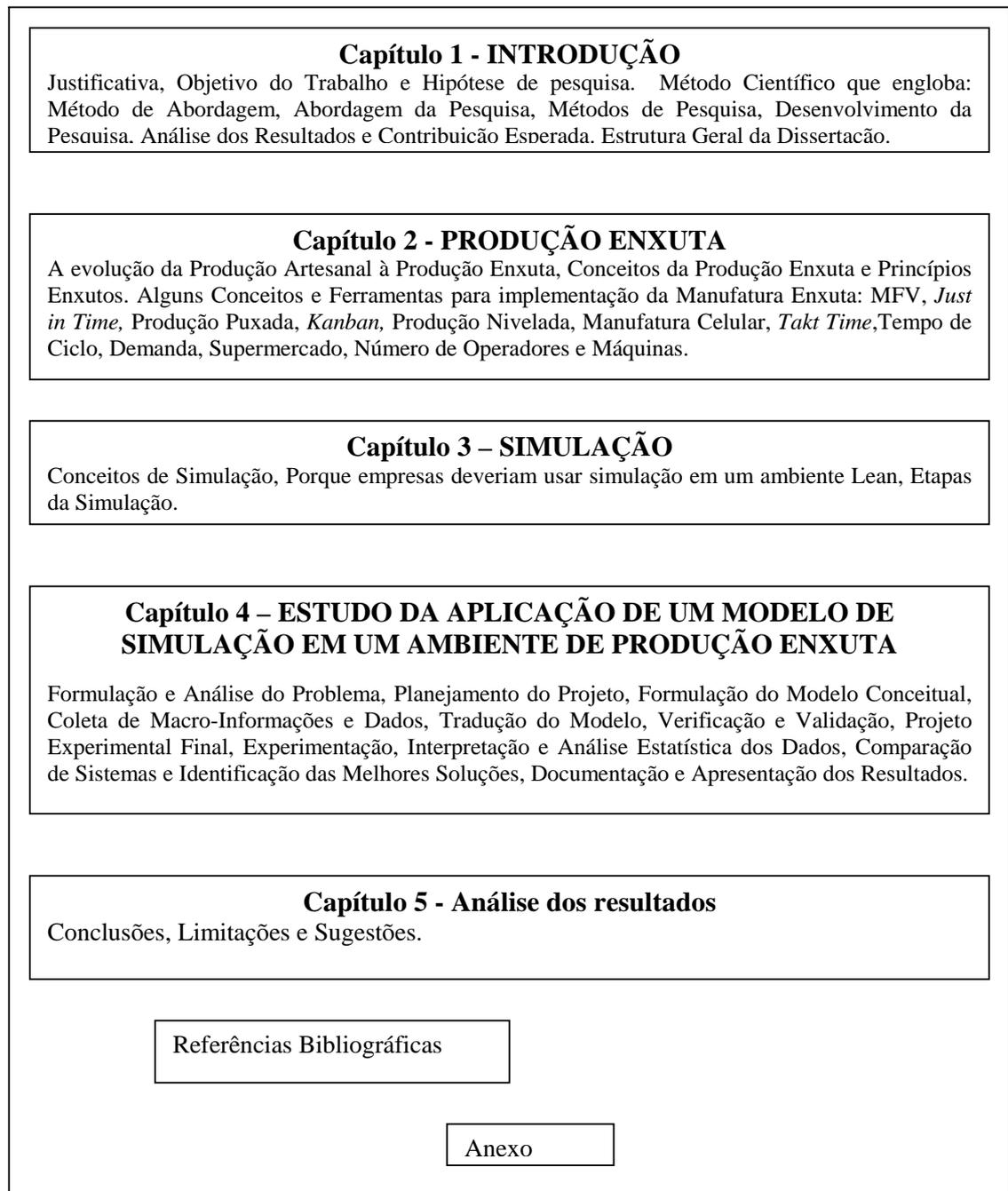
#### **1.4.6 Contribuição Esperada**

- Desenvolver um modelo que represente dinamicamente o Mapeamento do Fluxo de Valor e que possa ser utilizado para mostrar o funcionamento

- Indicar como a simulação pode auxiliar na análise: da quantidade de peças produzidas, do dimensionamento dos supermercados considerando o tempo de *setup*, do tempo de operação e paradas programadas ou não das máquinas, logo na construção do Mapeamento do Fluxo de Valor Futuro.
- Desenvolver um modelo que possa contribuir ao ensino mostrando aos engenheiros e estudantes como funciona o sistema de produção puxado, sendo as atividades de programação da produção operacionalizadas pelo sistema *Kanban*.

## 1.5 Estrutura Geral da Dissertação

A dissertação está organizada da seguinte forma, como mostra a figura 1.2:



**FIGURA 1.2 – Estrutura Geral da Dissertação**

## 2. SISTEMA DE PRODUÇÃO ENXUTA

Este capítulo primeiro apresenta a evolução dos sistemas de manufatura da Produção Artesanal até a origem da Produção Enxuta.

A seguir, são explicados alguns dos principais conceitos, princípios e técnicas da Produção Enxuta. Sendo realizada uma discussão á respeito: do *just in time*, do Sistema de Produção Puxado, do Sistema *kanban*, do Nivelamento e Sincronização da Produção, da Manufatura Celular e do Mapeamento de Fluxo de Valor.

Depois ilustra se o conceito de *takt time* e dos fatores que são influenciados por ele e que o influencia.

### 2.1 A evolução da Produção Artesanal à Produção Enxuta

Segundo Womack et al. (1992), a Produção Artesanal existe há séculos. Nas indústrias automobilísticas a sua origem se deu por volta de 1880 e era composta pelas seguintes características:

- Produção: Uma quantidade pequena de carros era montada;
- Força de Trabalho: Artesões talentosos, que tinham o domínio completo do ciclo de produção;
- Sistema e Máquina: Não tinha um sistema de metrologia e as máquinas-ferramentas não eram capazes de cortar o aço com alta dureza, o que tornava difícil a fabricação de carros idênticos;

- Consumidores: As vendas eram feitas de acordo com os pedidos dos consumidores. Cada carro era adequado ao exato desejo do comprador, logo somente pessoas privilegiadas que podiam adquirir o produto. Esses consumidores tinham como preocupação a velocidade e a personificação do carro;
- Custo: O custo do produto era alto o que limitava o seu acesso a uma pequena quantidade de clientes.

A Produção em Massa foi desenvolvida em torno da I Guerra Mundial, tendo como base a Administração Científica. Em 1908, Ford lançou o modelo T, carro projetado para manufatura, iniciando, assim, a produção em massa, que se deu devido á completa e consistente intercambialidade das peças e à facilidade de ajustá-las entre si. Em 1913 a linha de montagem de fluxo contínuo foi introduzida, onde o carro era movimentado em direção ao trabalhador estacionário. A difusão da Manufatura em Massa se dá a partir da década de 50 quando a maioria das empresas do segmento automobilístico atinge os níveis de produtividade da Ford (WOMACK et al., 1992).

Algumas das características da Manufatura em Massa segundo Womack et al. (1992), são as seguintes:

- Produção: As peças eram produzidas em grande quantidade e de forma padronizada sem troca de matriz, gerando Superprodução e *Muda*, palavra japonesa que significa tudo aquilo que absorve recursos que não gera valor;

- Força de trabalho: Divisão do trabalho; Menor esforço; Trabalhadores pouco qualificados; Trabalhadores vistos como meras peças intercambiáveis;
- Sistema e Máquinas: Linha de montagem Móvel; Máquina específica para cada tarefa, sendo essas caras e dedicadas a cada tarefa.
- Consumidores: Uma quantidade maior de pessoal podia adquirir o produto.
- Custo: Devido ao aumento da produtividade o custo tornou-se baixo comparado aos carros fabricados na era artesanal.

Segundo Womack et al. (1992), no auge da Produção em Massa, após o término da 2ª guerra mundial, o Japão dá início ao programa de reconstrução nacional o qual conduz importantes mudanças no âmbito da produção. Essas mudanças foram realizadas por Eiji Toyoda e Taiichi Ohno, este método de Gestão da Produção foi intitulado de Sistema Toyota de Produção (STP).

Alguns dos motivos que levaram Toyoda e Ohno perceberem que a Produção em Massa não seria adequada para as fábricas japonesas, foram:

1. O Japão tinha um mercado interno limitado que demandava uma vasta variedade de veículos, tornando a produção em massa viável;
2. A força de trabalho nativa do Japão não era propensa a ser tratada como custo variável ou peça intercambiável;

3. Inexistiam no Japão, trabalhador-hóspedes, isto é, trabalhadores temporários dispostos a enfrentar condições precárias de trabalho em troca de remuneração compensadora. Estes indivíduos no ocidente constituíam o grosso da força de trabalho na maioria das companhias de produção em massa;
4. A economia do Japão se encontrava devastada pela guerra.

Muitos fatores influenciaram na ascensão da Produção Enxuta, dentre eles: a questão econômica e as mudanças nos valores sociais. Na época do Sistema em Massa, os fabricantes empurravam a produção aos clientes que não tinham as suas necessidades atendidas. Já no Sistema de Produção Enxuta os consumidores ficam na linha de frente do mercado, puxando as mercadorias de acordo com as suas necessidades.

## **2.2 Conceitos de Produção Enxuta**

Para representar o Sistema Toyota de Produção, que foi introduzido na Toyota, logo depois do fim da segunda guerra mundial, Womack et al. (1992) popularizaram a expressão Produção Enxuta (*Lean Production*).

Womack e Jones (1998) ampliam a abordagem e integram o conceito de mentalidade enxuta (*lean thinking*), criando uma nova abordagem segundo a qual existe uma forma melhor de organizar e gerenciar os relacionamentos de uma empresa com os clientes, cadeia de fornecedores, desenvolvimento de produtos e operações de produção.

A filosofia da mentalidade enxuta, segundo Womack e Jones (1998), requer menores “*lead times*” para entregar produtos e serviços com elevada qualidade e baixos custos, através da melhoria do fluxo produtivo, por meio da eliminação dos desperdícios no fluxo de valor. Para os mesmos autores, a palavra no alvo da produção enxuta é “desperdício”, definido como qualquer processo no sistema que absorve recursos, mas não agrega valor.

A sustentação da Produção Enxuta segundo Ohno (1997) está na busca contínua de reduzir a linha do tempo entre o pedido de um cliente até o ponto do recebimento do dinheiro, removendo os desperdícios que não agregam valor.

Para Hines e Taylor (2000) em um processo de produção existem as seguintes atividades:

- Atividades que agregam valor - são aquelas que aos olhos do cliente final, tornam o produto ou serviço mais valioso.
- Atividades que não agregam valor – necessárias: são aquelas que aos olhos do cliente final, não tornam o produto ou serviço mais valioso, mas que são necessárias e desnecessárias: aquelas que aos olhos do cliente final, não tornam o produto ou serviço mais valioso e não são necessárias mesmo nas atuais circunstâncias.

Segundo Shah & Ward (2003), o Sistema de Produção Enxuta engloba ampla variedade de práticas gerenciais, tais como: *Just in Time*, Sistemas de Qualidade, Manufatura Celular, entre outros. Para esses autores, o ponto fundamental da Produção

Enxuta é que essas práticas devem trabalhar de maneira sinérgica para criar um sistema de alta qualidade que fabrica produtos no ritmo que o cliente deseja, sem desperdícios.

De acordo com Hines e Taylor (2000), a mentalidade enxuta surgiu da necessidade de enxergar e de eliminar os desperdícios, reduzindo custos, esforços, tempos e espaços. É uma forma de definir, alinhar e dar seqüência as ações que geram valor e realizá-las de maneira cada vez mais eficaz, utilizando menores recursos e atendendo as necessidades da demanda.

Godinho Filho (2004) define Manufatura Enxuta como um Paradigma Estratégico de Gestão da Manufatura (PEGEM), ou seja, Manufatura Enxuta é um modelo estratégico e integrado de gestão, direcionado a certas situações de mercado, que propõe auxiliar a empresa a alcançar determinados objetivos de desempenho (qualidade e produtividade); paradigmas esses compostos por uma série de princípios (idéias, fundamentos, regras que norteiam a empresa) e capacitadores (ferramentas, tecnologias e metodologias utilizadas).

Para Spear e Bowen (1999) o Sistema de Produção Enxuta se baseia em quatro regras:

1. Todo trabalho deve ser altamente especificado em relação ao conteúdo, seqüência, tempo e resultado desejado;
2. Toda relação cliente-fornecedor deve ser direta, inequívoca no envio de solicitações e recebimento de respostas;
3. O caminho percorrido por cada produto deve ser simples e direto;

4. Qualquer melhoria deve ser realizada pelos envolvidos na atividade que está sendo melhorada, de acordo com uma metodologia “científica” e com orientação de um especialista na metodologia.

Ghinato (1999) defende que, do ponto de vista da engenharia industrial, existe uma diferença fundamental entre perda e desperdício:

Perda: Utilização ineficaz de um determinado recurso, ocorrida ao longo da cadeia de valor de um determinado produto/serviço;

Desperdício: Extravio/descarte, geralmente não intencional, de um determinado recurso por simples negligência.

Mesmo havendo essa diferença entre perda e desperdício do ponto de vista da engenharia industrial, esses termos serão empregados nesse trabalho como sinônimos utilizando a definição de perda citada acima.

Segundo Ohno (1997), deve haver uma total compreensão do conceito de perdas, para que se possa detectá-las e eliminá-las completamente e propõe que os gerentes das indústrias tenham uma visão dinâmica dos sistemas produtivos que, no longo prazo, aponte para a "perda-zero".

Para auxiliar no procedimento de eliminação dos desperdícios, Ohno (1997) propõe uma classificação dos desperdícios em sete categorias e Liker (2004) incluiu o oitavo desperdício.

1. Desperdício por Superprodução – Produzir antes da efetiva demanda, para o caso dos produtos serem requisitados no futuro e produzir além da demanda requerida. São as piores perdas, porque ajudam a esconder as outras perdas.

2. Desperdício por Espera - pessoas esperando porque uma atividade anterior não foi realizada no prazo, ou seja, o material fica esperando para ser processado;
3. Desperdício por Transporte – a movimentação do material entre as diversas etapas do processo produtivo que não agregam valor devem ser eliminadas;
4. Desperdício no Processamento em si - etapas de processamento que na verdade não são necessárias, que não são valorizadas pelos clientes;
5. Desperdício por Estoque disponível - acúmulo de mercadorias nos estoques, e os mesmos diminuem a visibilidade de outros tipos de desperdícios, além de significarem investimento e espaço ocupado;
6. Desperdício por Movimentação - movimentação de pessoas e produtos de um lugar para outro sem propósito. Movimentos desnecessários ou não racionalizados ao longo do processo produtivo;
7. Desperdício por produção de produtos defeituosos - erros que exigem retificação são as maiores perdas do processo, pois representam desperdícios de recursos da empresa.
8. Desperdício da criatividade dos funcionários – o não envolvimento dos funcionários gera perda de tempo, idéias, habilidades, melhorias e oportunidades de aprendizagem.

Segundo Godinho Filho e Fernandes (2004), em função das características referidas ao mercado japonês, alguns autores consideram em relação à manufatura enxuta que:

- Mercados imprevisíveis e turbulentos não são adequados;
- Funciona em mercado que pode ser controlado;
- Mercados mais estáveis e previsíveis são mais adequados;

### **2.3 Princípios Enxutos**

Os princípios que regem a Produção Enxuta auxiliam na eliminação de diversos tipos de desperdício. Esses princípios, de acordo com Womack e Jones (1998) são:

**Valor** – o ponto de partida do pensamento enxuto é o valor, que é definido pelo cliente, para não correr o risco de fornecer eficientemente algo que o cliente efetivamente não deseja; procurar satisfazer a necessidade do cliente e cobrar um preço específico para manter a empresa competitiva, aumentando o lucro, reduzindo o custo e melhorando a qualidade.

**Cadeia de valor** – o próximo passo é a cadeia de valor que implica em enxergar o todo para eliminar todas as etapas produtivas de um determinado processo que não gerem valor. Ocorrem três tipos de atividades em sua extensão, são elas: 1. atividades que geram valor; 2. atividades que não geram valor, mas que são importantes; 3. atividades que não geram valor e que não são necessárias, devendo ser evitadas imediatamente;

**Fluxo de Valor Enxuto** – analisar toda a cadeia de valor obtida pela qual o produto deve passar. As atividades que criam valor devem fluir em um fluxo contínuo e estável, o que é chamado de fluxo de valor enxuto. O ideal seria que os produtos fluíssem em um fluxo de valor enxuto da matéria-prima ao produto acabado, sem movimentos inúteis, sem interrupções, sem lotes e sem filas. Podendo a empresa atender as necessidades dos clientes quase imediatamente;

**Produção Puxada** – nesse tipo de produção, o processo somente será acionado quando o processo seguinte solicitar. Aqui o cliente é quem deve puxar o produto, puxar a produção e puxar o valor, caso contrário, os processos fornecedores tenderão a fazer o que os processos clientes não necessitam naquele momento, assim as empresas eliminam dentre outras coisas o excesso de produção e à geração de estoques dando valor ao produto;

**Perfeição** – à medida que os princípios anteriores sejam alcançados, o quinto passo será implementado, onde ocorrerá a todos os envolvidos que as oportunidades de redução de esforço, de erro, de espaço, de tempo e de custo, são infinitas, possibilitando à empresa oferecer um produto que se aproxima cada vez mais do que o cliente realmente quer, podendo alcançar a perfeição.

## **2.4 Ferramentas usadas para a implementação da Produção Enxuta**

São necessárias ferramentas para dar sustentação ao pensamento enxuto. Neste subcapítulo descreve-se sobre o Mapeamento do Fluxo de Valor e em seguida apresentam-se as ferramentas, técnicas e conceitos que são usadas no mapeamento.

### 2.4.1 Mapeamento do Fluxo de Valor

Essa ferramenta, proposta por Rother e Shook (1999), utiliza um mapa atual e futuro dos processos onde os dados são obtidos na coleta realizada para mapear as operações, depois utiliza materiais como lápis e borracha para construí-lo.

Segundo Luz e Buiar (2004) o mapeamento é uma ferramenta de comunicação, planejamento e gerenciamento de mudanças, que direciona as tomadas de decisões das empresas em relação ao fluxo, possibilitando ganhos em indicadores de desempenho interessantes. E que esta ferramenta é muito importante para as empresas enxergarem o seu fluxo de valor e tomarem decisões que sustentem o processo de melhoria contínua, que é um dos princípios da Produção Enxuta.

Os motivos pelos quais essa ferramenta é considerada essencial, segundo Rother e Shook (1999), são:

- Ajuda a visualizar mais do que os processos individuais. Pode-se enxergar o fluxo.
- Ajuda a identificar mais do que os desperdícios, mostrando as fontes de desperdício no fluxo de valor.
- Fornece uma linguagem comum para tratar os processos de manufatura.
- Facilita a tomada de decisões sobre fluxo, pois os torna visíveis.
- Aproxima conceitos e técnicas enxutas, ajudando a evitar a implementação de ferramentas isoladas.
- Forma a base para plano de implementação da Mentalidade enxuta.

- Apresenta a relação entre o fluxo de informação e o fluxo de material.
- É uma ferramenta qualitativa que descreve em detalhes, qual é o caminho para a unidade produtiva operar em fluxo.

Segundo Rother e Shook (1999) o pessoal na Toyota aprende sobre três fluxos na manufatura que são: os fluxos de materiais, de informações e de pessoas/processos. Sendo que, o Mapeamento do Fluxo de Valor compreende os dois primeiros fluxos:

- Fluxo de Materiais – o movimento do material dentro da fábrica é fluxo que vem a mente.
- Fluxo de Informações – informa para cada processo o que fabricar ou fazer em seguida.

Segundo Queiroz et al. (2004), o Mapeamento do Fluxo de Valor pode ser explicado assim:

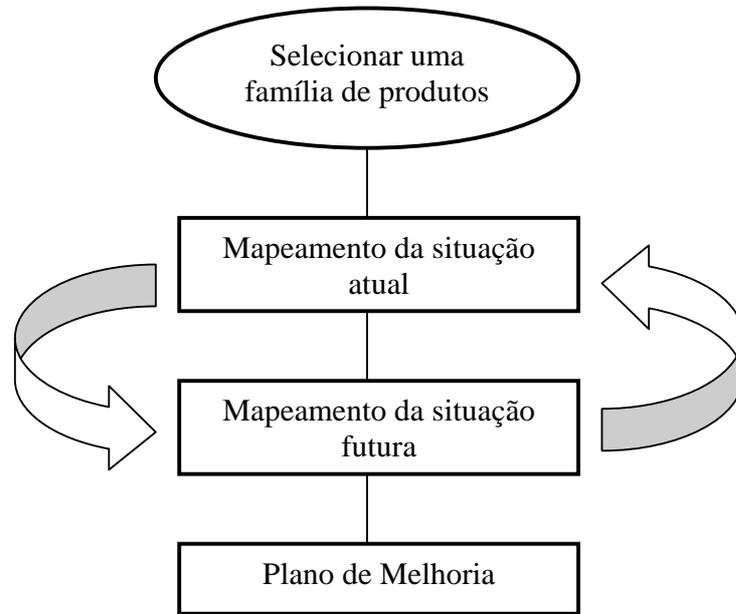
1. Siga a trilha da produção de uma família de produtos de porta-a-porta da planta, do consumidor ao fornecedor, e, desenhe o mapa do estado atual de seus fluxos de material e de informação;
2. Elabore o mapa do estado futuro de como o seu valor deveria fluir, segundo fluxos futuros melhorados de material e informação.

De acordo com os mesmos autores na medida em que se percorre o fluxo de material de uma família de produtos, poderão ser encontrados lugares onde o estoque se acumula. Esses pontos são importantes para serem desenhados no mapa da situação atual, pois eles mostram onde o fluxo está parando.

Enquanto no fluxo de informação podem ser identificados os movimentos de materiais que são empurrados pelo produtor e não puxados pelo cliente. Esse fluxo diz para cada processo que fabricar, a informação flui de tal forma que o processo somente é acionado quando o processo seguinte solicita.

De acordo com Queiroz et al. (2004), na Produção Empurrada os processos fornecedores tenderão a produzir partes que os seus processos clientes não precisam naquele momento, e tais partes serão empurradas para o estoque, que torna difícil o estabelecimento de um fluxo contínuo completo, o que é fundamental para se conseguir a criação de um fluxo de valor enxuto. Assim, cada processo tem a sua própria programação, operando desconectado do processo seguinte, onde cada um produz em um ritmo e gera lotes de tamanhos que não faz sentido a partir da ótica do fluxo de valor enxuto.

Segundo Rother e Shook (1998), a aplicação prática do Mapeamento do Fluxo de Valor deve seguir as etapas apresentadas na figura a seguir:



FONTE: Rother e Shook – 1999

**FIGURA 2.2 – Etapas do Mapeamento do Fluxo de Valor**

De acordo com Queiroz *et al.* (2004), o mapeamento do fluxo de valor é somente uma técnica. Logo, a questão básica de tornar-se enxuto não é apenas mapear. O mais importante é implementar o fluxo de valor enxuto.

Segundo Rother e Shook (1999), o que torna o fluxo de valor enxuto é fabricar os produtos em um fluxo contínuo completo, com *lead time* suficientemente curto para permitir a produção somente dos pedidos confirmados e com o tempo de mudança zero entre diferentes produtos.

O mapa do estado futuro tem como objetivo ligar todos os processos do cliente à matéria-prima em um fluxo contínuo completo que gere: o menor *lead time*, a mais alta qualidade e o mais baixo custo.

Para atingir o objetivo do mapa do estado futuro, segundo Queiroz et al. (2004), é preciso obedecer algumas regras coerentes com os princípios enxutos, listados a seguir:

- Produzir de acordo com o *takt time*: sendo que o *takt time* trata-se de um número de referência que dá a noção do ritmo em que cada processo deve estar produzindo para atender à demanda do cliente, sem que gere um excesso de produção;
- Desenvolver um fluxo contínuo onde possível: no fluxo contínuo se produz uma peça por vez, com cada item sendo passado imediatamente de um estágio do processo para os seguintes, sem nenhuma parada.
- No fluxo de valor onde o fluxo contínuo não é possível, havendo a necessidade de fabricar em lotes, é necessário instalar um sistema puxado com base em supermercados. Nesse sistema o processo cliente vai ao supermercado e retira somente o que precisa e quando precisa. Assim, o papel do processo fornecedor é produzir apenas para o reabastecimento.
- Tentar enviar a programação do cliente para somente um processo de produção, o que é definido como processo puxador. A maneira como a produção é controlada nesse processo define o ritmo para todos os processos anteriores.

- Nivelar o mix de produção, o que significa distribuir a produção de diferentes produtos uniformemente durante um período. Quanto mais se nivela o mix no processo puxador, mais apto se estará para responder às diferentes solicitações dos clientes com um *lead time* curto, enquanto se mantém um pequeno estoque de produtos acabados, observando por uma outra ótica, nivelar o mix da produção requer um aumento de *setup*.
- Nivelar o volume de produção, liberando apenas uma pequena e consistente quantidade de trabalho no processo puxador e retirando a mesma quantidade de produtos acabados, essa prática é chamada de retirada compassada e o incremento de trabalho *pitch*, que é a unidade básica da programação da produção para uma família de produtos.
- Desenvolver a habilidade de produzir toda parte todo dia nos processos anteriores ao processo puxador e, com o tempo, toda parte todo turno, toda hora e a cada *pitch*.

### 2.4.2 *Just in Time*

Originou-se no Japão nos meados da década de 60, sendo sua idéia básica e seu desenvolvimento creditado a Toyota Motor Company, com seu principal mentor Taiichi Ohno. Este sistema surgiu com a busca de um sistema da administração da produção que pudesse coordenar a produção com a demanda específica de diferentes modelos e cor de veículos com o mínimo de atraso (CORRÊA; 1996).

De acordo com Slack *et al.* (2002), JIT significa produzir bens e serviços exatamente no momento em que são necessários, não antes para que não se transforme em estoque, e não depois para que seus clientes não tenham que esperar, adicionando as necessidades de qualidade e eficiência. Como o próprio nome sugere, as tarefas começam em cima da hora, usando então o que chamamos de programação para trás, no tempo.

As vantagens do JIT são caracterizadas através da análise da sua contribuição em relação aos objetivos de desempenho, de acordo com Corrêa (1996):

- Custo – A produção JIT busca reduzir os custos através da minimização de estoques.
- Qualidade – O projeto do sistema evita que os defeitos fluam ao longo do fluxo de produção, o nível único aceitável de defeito é zero.
- Flexibilidade – O *Just in Time* aumenta a flexibilidade de resposta do sistema pela redução dos tempos envolvidos no processo. A flexibilidade dos trabalhadores contribui para que o sistema produtivo seja mais flexível em relação às variações do mix de produtos. Através

da manutenção de estoques baixos, um modelo de produto pode ser mudado sem que haja muitos componentes obsoletos.

- Rapidez – A flexibilidade, o nível baixo de estoques e a redução dos tempos permitem que o ciclo seja curto e o fluxo veloz.
- Confiabilidade – A confiabilidade das entregas também é aumentada através da ênfase na manutenção preventiva.

A finalidade do *Just-inTime*, que é um dos pilares da Produção Enxuta, é identificar, localizar e eliminar as operações que não agregam valor, garantindo um fluxo contínuo. A meta segundo Ohno (1997), é que nada deverá ser feito na produção que não adicione valor ao produto diretamente associado com a transformação do material a sua forma desejada.

### **2.4.3 Produção Puxada**

A produção puxada racionaliza os recursos de manufatura onde o fluxo produtivo só deve iniciar a produção de um determinado lote quando houver sido requerido pelo cliente, que no caso é o agente propulsor da cadeia produtiva.

Segundo Tubino (1999), puxar a produção significa não produzir até que o cliente (interno ou externo) de seu processo solicite a produção de determinado item. Conforme que o cliente de um processo necessita de itens, ele recorre aos estoques do fornecedor, acionando diretamente este processo para que os itens consumidos sejam fabricados e reponham os estoques.

Miltenburg (2001), afirma que além de ajustar a produção com a demanda, o sistema de puxar a produção carrega consigo a representação da qualidade total na prática, pois o que se utiliza é o fluxo unitário de produtos facilitando a visualização e transparência dos problemas que normalmente ficariam encobertos pelos sistemas convencionais de empurrar a produção.

Em um sistema de planejamento e controle puxado, o passo e as especificações de o que é feito são estabelecidos pela estação de trabalho do consumidor, que puxa o trabalho da estação antecedente. Nesses sistemas a probabilidade de formação de estoque é muito menor, sendo então favorecidos pelo sistema de planejamento e controle JIT, que já foi descrito anteriormente Slack *et al.* (2002).

Para o efetivo funcionamento do sistema de puxar é necessário o nivelamento da produção. A idéia é a substituição da produção em grandes lotes, característica preponderante dos sistemas convencionais, pela produção de pequenos lotes de variados produtos (*mix* de produtos) respondendo as variações da demanda através da flexibilidade de fabricação e não dos altos estoques.

Os objetivos do “sistema puxado”, enumerados por Moura (1999), são: minimizar o inventário em processo; minimizar a flutuação de estoque em processo; reduzir o “lead-time” da produção; evitar a transmissão ampliada de flutuações de demanda ou de volume entre processos; elevar o nível de controle através da descentralização (delegação de responsabilidades); reagir mais rapidamente à mudança da demanda, e reduzir os defeitos.

#### 2.4.3.1 Comparação entre Produção Empurrada e Puxada

Segundo Tubino (1999), as funções do Planejamento e Controle da Produção estão divididas em Plano Agregado de Produção, Plano-Mestre de Produção (PMP), Programação da Produção, as quais estão dentro dos níveis operacionais de longo, médio e curto prazos respectivamente.

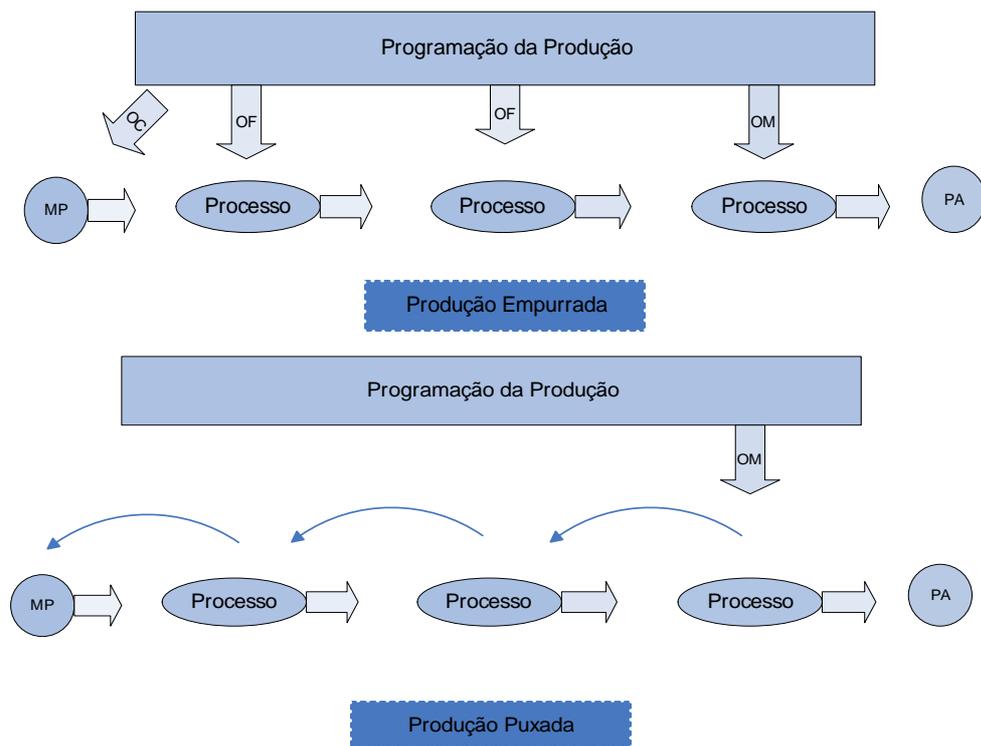
A Programação da Produção faz com que as atividades produtivas sejam disparadas, sendo muito importante à forma como essas atividades são controladas. Esse controle pode ser feito empurrando ou puxando a produção (TUBINO, 1999).

Enquanto o sistema de puxar a produção é favorecido pela filosofia JIT, que usa o *Kanban* para operacionalizar as atividades de produção, o sistema de empurrar a produção é favorecido pelo MRP.

De acordo com SLACK et al. (2002), o MRP surgiu nos anos 60 com a finalidade de permitir às empresas o cálculo da quantidade de materiais de determinado produto necessários e em que momento, utilizando para isso pedido em carteira e uma revisão dos pedidos que a empresa acha que irá receber. Assim, o MRP verifica todos os componentes necessários para atender esses pedidos, garantindo que sejam providenciados a tempo.

Nos sistemas de empurrar um programa de produção completo vai da matéria-prima (MP) até a montagem do produto acabado (PA), transmitindo-o aos setores de ordens de compra (OC), fabricação (OF) e montagem (OM), passando antes por uma etapa de sequenciamento e em função dos estoques remanescentes, programam-se novas ordens para atender a um novo Plano Mestre de Produção.

No caso do sistema que puxa a produção, a programação da produção usa informações do Plano Mestre de Produção para emitir ordens somente para o último estágio do processo produtivo e para dimensionar as quantidades de *kanban* dos estoques em processo para os demais setores. A figura 2.1 mostra como as atividades da Programação da Produção, que são: administração de estoque, sequenciamento e emissões de ordens se comportam nos sistemas de puxar e empurrar a produção.



Fonte: Tubino 1999.

**FIGURA 2.1 – Sistemas de puxar e de empurrar**

O quadro a seguir mostra uma comparação entre os Sistemas de Empurrar e Puxar a produção.

**QUADRO 2.1 – Comparação entre Produção Empurrada e Puxada**

Produção Empurrada	Produção Puxada
Cada centro de trabalho empurra o trabalho, sem levar em consideração se o centro de trabalho seguinte pode utilizá-lo.	Só inicia a produção quando um cliente (interno ou externo) de seu processo solicitar a produção de um determinado item.
Elabora periodicamente, para atender ao PMP, um programa de produção completo, e transmiti-o aos setores responsáveis através da emissão de ordens.	Usa as informações do PMP para: emitir ordens para o último estágio do processo produtivo e dimensionar a quantidade de estoques em processo para os demais setores.
È favorecida pelo MRP, onde as emissões de ordens e o controle de estoques são baseados na sua lógica.	È favorecida pela filosofia JIT, onde as atividades de programação da produção normalmente são operacionalizadas empregando-se o sistema <i>Kanban</i> , o qual será descrito.
As prioridades dos pedidos realizados no sistema MRP podem ser baseadas em regras, mas normalmente são definidas no chão-de-fábrica pelo supervisor.	As prioridades dos pedidos realizados no sistema <i>Kanban</i> , são feitas baseadas num controle visual.

**Fonte: Elaborada pela Autora**

#### 2.4.4 *Kanban*

É uma palavra japonesa que significa quadro de avisos, cartão, bilhete. Foi desenvolvido na década de 60 pelos engenheiros da Toyota Motores, surgiu com o objetivo de simplificar e dar maior rapidez às atividades de programação, controle e acompanhamento de sistemas de produção em lotes. A origem do sistema *kanban* partiu da análise da forma como os supermercados americanos, elementar na época, tratavam seus estoques (OHNO; 1997).

O Sistema de Produção Enxuta busca a produção sem estoques utilizando a estratégia de diminuição gradativa dos estoques intermediários também como uma forma de identificar outros problemas no sistema produtivo, escondidos por trás dos estoques. Utiliza-se o *kanban*, para operacionalizar o sistema de planejamento e controle puxado, o que diferencia dos sistemas convencionais de planejamento e controle de produção que normalmente trabalha, com sistema empurrado.

No sistema de "puxar" a produção, o controle pode ser feito pelo sistema *kanban*. Para Albuquerque *et al.* (1999), a visão geral do sistema *kanban* e a sua principal característica no contexto da filosofia JIT são o fato dele “puxar” o processo de produção, em que o processo subsequente retirará as peças do processo precedente. Ficando evidente a relação cliente-fornecedor que o JIT congrega e que o *kanban* é utilizado para movimentar e autorizar a produção.

O *Kanban* é um sistema de sinalização entre cliente e fornecedor que informa ao processo fornecedor exatamente o que, quanto e quando produzir. Tem como objetivo controlar e balancear a produção, eliminar perdas, permitir a reposição de estoques baseado na demanda e constituir-se num método simples de controlar visualmente os processos (GHINATO; 2000).

O funcionamento da técnica do *Kanban* está baseado na comunicação visual, assim usa-se de sinalizações como o de cartões *Kanban* e painéis porta-*Kanban* para ativar a requisição e movimentação dos itens administrados pela técnica (TUBINO, (1999) ; SLACK *et al.* (2002)).

Para Albuquerque *et al.* (1999), o sistema *Kanban* é operado pelos empregados da linha de produção, os quais possuem a visibilidade e o conhecimento profundo das necessidades imediatas dentro da fábrica para atender às necessidades do programa mestre de produção.

De acordo com Moura (1999), tem-se que a linha de montagem final controla todas as outras estações de trabalho. Portanto, ela está puxando toda a produção. Todos os processos de frente da produção puxam o número exato de peças desejadas para que a mesma flua continuamente.

O sistema *Kanban* pode ser um sistema baseado no uso de dois cartões, que foi o sistema originalmente criado pela Toyota, ou pode ser um sistema com apenas um cartão. Tubino (1999) denomina tais cartões de: cartão *kanban* de produção e cartão *kanban* de requisição ou movimentação. O propósito do sistema é mostrar um fluxo reduzido na fábrica via cartões e, através do acréscimo ou da retirada de cartões, ajustar ou solucionar um problema básico.

Tubino (1999) define os tipos de cartões *Kanban* da seguinte maneira:

1. Cartões *kanban* de requisição – estes podem ser:
  - Cartões *kanban* de requisição interna: autoriza o movimento das peças entre o centro de trabalho produtor e o centro consumidor. Ele é uma espécie de passaporte para requisição de materiais.
  - Cartões *Kanban* de Fornecedor (requisição externa à empresa): autoriza o fornecedor externo da empresa a fazer uma entrega de um lote de itens.

2. Cartão *kanban* de produção – autoriza a produção de peças para repor as requisitadas para uso em estações subseqüentes.

De acordo com Tubino (1999) e Menegon (2003) a operacionalização dos cartões Kanban, pode ser realizada das seguintes maneiras:

1. Sistema *Kanban* com dois cartões – é usado um cartão de produção e outro de requisição ou movimentação, é empregado quando o processo precedente está situado longe do cliente, sendo preciso usar o cartão *Kanban* de movimentação. Através do sistema de puxar, o processo subseqüente (cliente) vai até o supermercado (estoque) do processo precedente (fornecedor) de posse do *kanban* de requisição, que lhe permite retirar deste estoque exatamente a quantidade do produto necessária para satisfazer suas necessidades. O *Kanban* de requisição então retorna ao processo subseqüente, o processo anterior recebe o sinal para iniciar a produção deste item através do *kanban* de produção, que estava anexado ao lote retirado.
2. Sistema *Kanban* com apenas um cartão – pode-se usar apenas o cartão de requisição ou o cartão de produção, da seguinte maneira:
  - Sistema com apenas o cartão de requisição – Ao ser requisitado algum item do centro de trabalho precedente, o material vai direto para a linha de produção do centro de trabalho subseqüente.

- Sistema com apenas o cartão de produção - é usado em situações em que processo precedente está perto do processo subsequente, não sendo preciso empregar um cartão *Kanban* de Requisição, pois eles mesmos autorizam a movimentação do fluxo de itens.

De acordo com Tubino (1999) o ponto inicial para determinar o número de cartões *kanbans* é estabelecendo o tamanho do lote para cada componente, com isso define o número total de cartões no sistema. Geralmente o tamanho do lote é definido em função de dois fatores: tempo de *setup* que a empresa se dispõe a realizar por período diário e o tamanho do contenedor onde serão colocados os itens.

As condições básicas para um bom funcionamento do sistema *kanban* independente da forma como o *kanban* é operacionalizado resume-se em cinco regras que, segundo Tubino (1999) são:

Regra 1: chave para puxar a produção – O processo subsequente deve retirar no processo precedente os itens de sua necessidade apenas nas quantidades e no tempo necessário.

Regra 2: limita os estoques em processo – O processo precedente deve produzir seus itens apenas nas quantidades requisitadas pelo processo subsequente.

Regra 3: observa a importância da qualidade total – Produtos com defeito não devem ser liberados para os clientes.

Regra 4: trabalhar com quantidade mínima de estoque em processo – o número de *Kanban* no sistema deve ser minimizado.

Regra 5: capacidade do sistema *Kanban* de absorver pequenas alterações na demanda – O sistema *Kanban* deve adaptar-se às pequenas flutuações na demanda.

Shingo (1996) cita as principais características do sistema *Kanban*:

- Melhoria total e contínua dos sistemas de produção;
- Regulagem do fluxo de itens globais com controle visual a fim de executar essas funções com precisão;
- Simplificação do trabalho administrativo dando autonomia ao chão de fábrica;
- Informação transmitida de forma organizada e prática.

Os benefícios decorrentes do Sistema *kanban* segundo Moura (1999) são:

1. Redução dos desperdícios, fora e dentro do chão de fábrica;
2. Melhoria dos níveis de controle de fábrica, pela descentralização e simplificação dos processos operacionais;
3. Redução do tempo de duração do processo (*lead-time*);
4. Aumento da capacidade reativa da empresa (resposta aos clientes);
5. Elevação do nível de participação e engajamento das pessoas, através da descentralização do processo decisório;
6. Ajuste dos estoques à flutuação regular da demanda;
7. Diminuição dos lotes em produção;
8. Eliminação dos estoques intermediários e de segurança;
9. Sistematização e aperfeiçoamento do fluxo de informações, assim como dos mecanismos de comunicação entre o pessoal de produção;
10. Integração do controle de produção nos demais mecanismos de flexibilidade da empresa;

#### 11. Maior facilidade na programação da produção.

Portanto, os benefícios obtidos pela implementação correta do sistema *kanban* resulta nas melhorias de desempenho de qualquer empresa, ou seja, minimização de custos, redução de resíduos, sistema logístico eficiente e entrega rápida dos produtos com alta qualidade. Tal fato ocorre porque este sistema é um meio de eliminar estoque, isto é, uma forma de eliminar a perda por superprodução.

Ohno (1997) salienta que a condição básica para que o *Kanban* funcione como uma ferramenta para se praticar o *JIT* é a administração dos processos de produção de forma a fluírem em um ambiente de produção nivelada e organizada, com métodos padronizados de trabalho.

#### **2.4.5 Produção Nivelada**

O planejamento e programação da produção dentro do contexto da filosofia *JIT* procura adequar à demanda esperada às possibilidades do sistema produtivo. Este objetivo é alcançado através da utilização da técnica de produção nivelada.

Para que os benefícios do *kanban* possam ser completamente alcançados, é necessário que haja um fluxo estabilizado de material. Quando se combina *Kanban* com o nivelamento da produção, os estoques de matéria-prima, material em processo e produtos acabados, podem ser bem menores. Com isso, a empresa pode diminuir o tempo de resposta para o cliente, sem precisar manter grandes quantidades de material em estoque, o que acarreta em custos relacionados ao excesso de produção (TARDIN, 2001).

Em um sistema de manufatura enxuta é muito importante ter controle dos processos para eliminar desperdício. Uma ferramenta para executar isso é a Produção Nivelada.

*Heijunka*, uma palavra japonesa para produção nivelada, é onde os administradores tentam manter o nível da produção tão constante quanto possível, todos os dias (WOMACK et al., 1992). *Heijunka* é um conceito adaptado do Sistema Toyota de Produção, onde para diminuir o custo da produção não eram produzidos mais carros e peças que o número que poderia ser vendido. Para complementar isso, a programação da produção deveria ser nivelada para produzir a quantidade certa de peças e utilizar a força de trabalho eficazmente. Se o nível da produção não é constante isso conduz ao desperdício, como estoque em processo (*WIP*), no local de trabalho.

Nivelar a produção significa produzir todos os itens dentro de curtos intervalos de tempo. Quanto menor for o intervalo, mais nivelada estará a produção. Conseguindo fazer isso, é possível atender aos clientes, produzindo a quantidade certa, sem excesso de produção (TARDIN, 2001).

#### **2.4.6 Layout Celular**

O *layout* consiste da disposição física das máquinas e postos de trabalho dentro do prédio de cada unidade produtiva. Algumas das principais vantagens de um bom *layout* segundo Menegon (2003), são:

- Reduzida movimentação de materiais e alta flexibilidade (design, mix do produto e volume de produção);
- Pouco trabalho em processo e a redução do estoque em processo, além do baixo tempo total de produção por unidade;
- Alta utilização das máquinas;
- Diminuição das distâncias percorridas;
- E outros resultados obtidos devido à ampliação das funções dos trabalhadores.

Para Lopes (1998), o *layout* do setor produtivo é responsável por grande parte dos desperdícios identificados pela filosofia da Produção Enxuta. Os tipos de desperdícios que estão relacionados são: de transporte, de movimentação e de estoque. O objetivo da Produção Enxuta é eliminar esses desperdícios, para isso são necessárias algumas mudanças na forma de arranjar os recursos produtivos na fábrica.

Segundo Slack et al. (2002), a maioria dos arranjos físicos deriva de quatro tipos básicos de arranjo físico. São eles:

Arranjo físico posicional – Os recursos transformadores, que são os equipamentos, maquinários, instalações e pessoas se movem para os recursos transformados, materiais, informações ou clientes.

Arranjo físico por processo – Processos similares, ou com necessidades similares são agrupados.

Arranjo físico celular – Os recursos transformados, entrando na operação são pré-selecionados para movimentar uma parte específica da operação nas quais todos os recursos transformadores necessários a atender as suas necessidades de processamento se encontram.

Arranjo físico por produto – Os recursos produtivos transformadores são organizados de forma que o material neles processados siga a mesma seqüência entre as máquinas.

O arranjo físico utilizado em empresas que adotam o sistema de produção enxuta é o arranjo físico celular, que segundo Monden (1984), é um dos elementos que deve ser implementado para que o sistema tenha características de um sistema de produção enxuta. De acordo com Cochran e Linck (1999) para organizar arranjos físicos em formato celular é necessário conhecer o *takt time*.

Segundo Irani (1999) a abordagem de manufatura celular tem sua origem na tecnologia de grupo, que é o agrupamento de famílias de peças ou produtos com base na similaridade de forma e tamanho, processo e outros, envolvendo máquinas e processos semelhantes. Família de peças pode ser definida como coleção de peças similares devido à forma e tamanho ou a passos similares que o processo de fabricação exige.

A manufatura celular resulta na tentativa de “linearizar o fluxo de materiais” numa produção contínua intermitente, representando um modelo que incorpora características intermediárias entre arranjo físico funcional e o linear, visando uma otimização dos recursos de manufatura (CORRÊA *et al.*,1996).

A aplicação das técnicas de arranjo físico celular pode ser utilizada para facilitar e melhorar o fluxo de materiais no processo. Em um sistema de manufatura celular, os postos de trabalho são dispostos de forma a permitir uma maior aproximação física possível entre os postos a jusante e a montante, respectivamente, reduzindo os deslocamentos e permitem que um mesmo operador possa efetuar várias operações diferentes, com um deslocamento mínimo de peças (SLACK *et al.*, 2002).

O foco de manufatura de uma célula é determinado pelos atributos da família de peças que irão ser produzidas. Alguns critérios que podem ser usados para definir o foco da manufatura celular, de acordo com Irani (1999), são:

- Variedade de processos ou das peças;
- Volume de produção;
- Segmento de mercado;
- Grau de automação (técnica que objetiva de forma automática detectar e corrigir problemas no fluxo de produção) das atividades em célula;
- Características das peças.

As vantagens da manufatura celular são devidas principalmente à proximidade de todas as máquinas requeridas para fazer uma família de peças. Reduzindo a distância percorrida pelos lotes das peças.

As desvantagens podem surgir das características que formam a base do projeto das células e as limitações dos métodos utilizados para projetar e avaliar as células.

### 2.4.7 Takt Time

Para viabilizar o pensamento enxuto a filosofia *just in time* é utilizada, que tem como ferramenta de controle os sistemas *kanban*, que puxa a produção. Algumas das condições básicas para o funcionamento do *kanban* são: o nivelamento e a sincronização da produção, onde o conceito de *takt time* é de fundamental importância.

Os conceitos de *takt time* definidos por alguns autores, algumas vezes são complementares e até mesmo divergentes.

De acordo com Cochran e Reynal (1996) *takt time* é o modo de sincronizar a produção com a demanda do cliente.

Iwayama (1997) afirma que o *takt-time* é o tempo alocado para a produção de uma peça ou produto em uma célula ou linha. A idéia de ‘alocação’ de um tempo para produção pressupõe, naturalmente, que alguém ‘aloca’; o *takt time* não é dado absoluto, mas sim determinado.

*Takt Time* descreve a quantidade de tempo disponível para montagem por estação e é calculado a partir do tempo disponível para a produção anual e do planejamento do volume de produção (MEYERS, 1999).

Para Rother e Shook (1999), *takt time* é a frequência com que uma peça ou produto deve ser produzido, baseado no ritmo de vendas, para atender a demanda dos clientes. Esse tempo é o número que informa o ritmo em que cada processo deveria estar produzindo e ajuda a enxergar o que está acontecendo na produção e o que precisa ser feito para melhorar.

Para Ghinato (2000), *takt time* é o tempo necessário para produzir um componente ou produto completo, baseado na demanda do cliente. Ou seja, é o tempo que associa e condiciona o ritmo de produção ao ritmo de venda.

Para Alvarez e Antunes Jr. (2001) o conceito que parece ser coerente para *takt time* é o ritmo de produção necessário para atender a um determinado nível considerado de demanda, dadas às restrições de capacidade da linha ou célula. O *takt time* é definido a partir da demanda do mercado e do tempo disponível para produção. Ele é o ritmo de produção necessário para atender a demanda.

*Takt Time* é definido por Schroer (2004) como o "tempo médio disponível em um período de tempo/demanda do cliente em um período de tempo". Um exemplo dado em Schroer (2004): se o tempo médio são 8 horas e a demanda do cliente são 2880 unidades, então o *takt time* é de  $28.800 \text{ segundos} / 2.880 \text{ unidades}$  ou 10 segundos. Conseqüentemente, nenhum operador pode exceder 10 segundos em pedido recebidos pela demanda do cliente. Se feito, então caminhos melhores serão encontrados para melhorar o processo, realocando trabalho entre os operadores, ou melhorando o método.

Já Moden (1984) define tempo de ciclo, que foi discutido posteriormente, como o tempo no qual uma unidade de um produto deve ser produzida. Para alguns autores como Ohno (1997), esse conceito é equivalente ao de *takt time*.

Para produzir de acordo com o *takt time* é importante concentrar em alguns fatores que segundo Rother e Shook (1999), são:

- Fornecer resposta rápida (dentro do *takt*) para problemas;
- Eliminar as causas de paradas de máquinas não planejadas;

- Eliminar tempos de troca em processos posteriores, tipo processos de montagem.

Para responder rapidamente a problemas e manter o *takt time*, a programação e a checagem da produção deve ser realizada a cada pitch. O pitch é calculado da seguinte maneira:  $takt\ time \times tamanho\ da\ embalagem$  (ROTHER ; SHOOK, 1999). O *pitch* é um valor prático de tempo para a liberação e retirada de trabalho na célula.

Uma orientação geral segundo Rother e Harris (2002), é que o *takt time* de uma célula deve estar entre 10 e 120 segundos, pois o trabalho do operador pode se tornar altamente repetitivo e estressante, devendo ser utilizadas múltiplas células iguais, quando o valor é baixo e a padronização dos movimentos fica difícil, devido ao grande número de elementos de trabalho, podendo ser considerada a alocação dos produtos finais adicionais mais similares na célula, quando o valor é maior que 120 segundos.

Matematicamente, para calcular o valor do *takt time*, é sugerida por Feld (2000) a seguinte fórmula:

$$Takt\ Time = \frac{Tempo\ de\ trabalho\ disponível\ por\ turno}{Demanda\ do\ cliente\ por\ turno}$$

Para calcular o valor do tempo *takt*, primeiro deve ser encontrada a demanda do cliente por turno, que de acordo com Rother e Harris (2002), é calculada da seguinte forma:

$$Demanda\ do\ cliente\ por\ turno = \frac{Número\ de\ produtos\ demandados\ por\ dia}{Número\ de\ turnos\ operados\ por\ dia}$$

Depois que identificar a demanda por turno, deve ser calculado o tempo de trabalho disponível, assim:

*Tempo do início ao final dos turnos – Paradas planejadas dos turnos .*

A demanda do cliente não pode ser alterada pelos trabalhadores da linha de produção, enquanto o tempo de trabalho disponível pode ser mudado assim: ajustando o número ou a duração dos turnos, o número de produtos acabados produzidos em uma célula e o número de células fabricando um produto final específico.

De acordo com Iwayama (1997) deve-se usar como parâmetro o *takt time* na Gestão dos Fluxos de Materiais, pois este valor mostra de forma mais clara as prioridades para melhorias na fábrica. Diminuir o tempo *takt* serve para notar quais são as operações e os equipamentos que são restrições para a capacidade de produção, logo o *takt time* é um elemento indutor e direcionador da realização de melhorias.

Baseado nos autores Alvarez e Antunes Jr. (2001) e Rother e Shook (1999), o *takt time* será considerado como o tempo necessário para que uma peça seja produzida, considerando dois fatores: a frequência com que o cliente necessita de uma peça e às restrições de capacidade da linha de produção. Tendo como objetivo a produção de peças no ritmo definido pelo *takt time*, obtendo na linha de produção a sincronização da demanda de um produto com o seu tempo de ciclo.

Segundo Alvarez e Antunes Jr. (2001), os limites inferior e superior de tempo que caracteriza o *takt time*, são definidos respectivamente pela demanda e pelo tempo de ciclo da linha ou célula.

### 2.4.8 Tempo de Ciclo

Rother e Shook (1999) definem tempo de ciclo como o tempo que leva entre uma peça e outra sair ao final do processo, ou seja, é a frequência com que uma unidade acabada sai do final da célula e não o tempo total que leva um componente para passar por todas as etapas do processo.

Para Alvarez e Antunes Jr. (2001), a definição usada para tempo de ciclo, descrita acima, é o conceito de tempo de ciclo para uma máquina ou equipamento. Sendo que para esses autores, existe o tempo de ciclo de uma linha ou célula, que representa o ritmo máximo possível da linha ou célula.

Em um sistema de produção, de acordo com Alvarez e Antunes Jr. (2001), analisando uma célula ou linha de produção que possuem 'n' postos de trabalho, o tempo de ciclo é determinado em função de dois elementos:

1. Tempos unitários de processamento em cada máquina/posto (tempo-padrão);
2. Número de trabalhadores na célula ou linha.

Alvarez e Antunes Jr. (2001) e Fernandes et al. (2005), mostram a relação entre *takt time* e tempo de ciclo. Para esses autores existe o *takt time* calculado que é feito por meio da fórmula sugerida por Feld (2000), que considera a capacidade do sistema como infinita. E definem um *takt time* efetivo com base na capacidade real do sistema, da seguinte maneira:

$$Takt\ Time\ Efetivo = \begin{cases} Takt\ Time\ Calculado\ se\ capacidade \geq demanda \\ Tempo\ de\ Ciclo\ se\ capacidade < demanda \end{cases}$$

Segundo Rother e Harris (2002) o tempo de ciclo não deve ser muito menor que o *takt time*, porque pode: gerar excesso de produção; utilizar operadores extras; esconder problemas de produção e reduzir os incentivos para encontrar e eliminar suas causas. Idealmente, o tempo de ciclo para cada operação deve ser menor ou igual ao *takt time*.

De acordo com Alvarez e Antunes Jr. (2001), pode-se diminuir o tempo ciclo, por meio das seguintes estratégias: realocação do pessoal na fábrica, aumento do número de funcionários e realização de melhorias nas operações principais e/ou auxiliares.

#### **2.4.9 Demanda**

Quando as operações possuem demanda que depende de alguns fatores conhecidos, podendo ser prevista com mais exatidão, o tempo *takt* não muda com frequência. Mas demandas consideradas independentes, onde a tomada de decisões da forma como a demanda será suprida têm que ser realizada sem ter qualquer previsão dos pedidos dos consumidores, as variações no valor do *takt time* poderão ser frequentes (ROTHER ; SHOOK, 1999).

Mudanças na demanda é uma situação que precisa ser considerada dentro do processo assim que inicia a operação, para que os gerentes saibam responder a elas. É sugerido por Rother e Harris (2002), que as variações nos pedidos diários do cliente sejam vistos de acordo com as entregas efetivas e não pelas ordens de fabricação.

Segundo Rother e Shook (1999), as flutuações diárias nas demandas, quando são pequenas são mais simples de serem resolvidas podendo operar com o *takt time* constante, baseado na média da demanda de longo prazo e, ou resolver os problemas por meio da utilização de um supermercado de produtos acabados entre o processo puxador e o cliente.

#### **2.4.10 Supermercado**

Segundo Liker (2005), Ohno e seus colegas ficaram fascinados com a importância dos supermercados no cotidiano dos americanos na década de 50. Percebendo a importância de criar pequenos estoques para permitir o fluxo uniforme Ohno decidiu criar pequenos supermercados de peças entre operações para controlar o estoque.

Os supermercados de produtos em processo deveriam estar localizado próximo ao processo de fornecimento, porque são utilizados para programar aqueles processos. O recurso responsável pela movimentação de material do processo cliente vai até o supermercado do fornecedor e retira o que necessita. Quando as retiradas são realizadas, o *Kanban* é acionado e movimenta-se do supermercado até o processo fornecedor, onde são usados como instrução de produção para aquele processo.

De acordo com Rother e Harris (2002), o supermercado de produtos acabados permite aos gerentes definir o *takt time* e o número de operadores e torna possível o gerenciamento do fluxo contínuo por longos períodos de tempo.

O *setup* (tempo de troca, tempo de troca do equipamento, preparação das máquinas) deve ser rápido com o objetivo de ter produção em pequenos lotes, de forma econômica, de acordo com as necessidades dos clientes, no momento certo e eliminar todos os problemas relacionados aos estoques e diminuindo o tamanho dos supermercados.

#### **2.4.11 Número de Operadores e Quantidade de Máquinas**

Alguns dos elementos físicos da produção são os operadores e máquinas, que são influenciados pelo *takt time*. O projeto de como o operador deve ser utilizado não precisa simplesmente ser para maximizar a utilização do equipamento, mas para a melhor forma de alocação do mesmo (ROTHER ; HARRIS, 2002).

De acordo com Alvarez e Antunes Jr. (2001), a ausência de um operador causa problemas para operar uma linha ou célula de produção, pois implica na redistribuição da carga de trabalho e na possível modificação do *takt time*. Para lidar com essas situações, uma empresa necessita de um grupo de operadores que sejam capazes de cobrir deficiências em diferentes pontos da linha e das células, sem que seja necessário alterar as rotinas de operação e o ritmo de produção.

A presença de funcionários capazes de desempenhar diferentes tarefas também é importante devido à necessidade de adaptação do sistema às flutuações na demanda. A variação na demanda implica na redefinição do *takt time*, como conseqüente a redistribuição da carga de trabalho na fábrica.

Para Rother e Harris (2002) para determinar o número de operadores deve ser utilizada a seguinte equação:

$$\text{Número de Operadores} = \frac{\text{Tempo total de trabalho}}{\text{Takt Time}}$$

Quando for calcular o número de operadores pode haver sobras, por exemplo, se o tempo total de trabalho for 88 segundos e o *takt time* 40 segundos, então o número de operadores é de 2,2, havendo uma sobra de 2 décimos. Como não pode se ter 0,2 de um operador a tabela a seguir pode ser usada para orientações caso ocorra sobra a partir do cálculo do número de operadores.

**QUADRO 2.2 – Orientação para determinar o número de operadores em uma célula**

Sobra a partir do cálculo do número de operadores.	Orientação/Meta
< 0,3	Não adicionar operador. Podem ser reduzidos o desperdício e trabalhos que não são importantes.
0,3-0,5	Não adicionar operador. Após duas semanas de operação da célula e da identificação da raiz do problema, avaliar se tem desperdícios que podem ser eliminados.
>0,5	Adicionar operador se necessário e manter a redução dos desperdícios para eventualmente eliminar a necessidade deste operador na célula.

Fonte: Rother e Harris (2002)

Antes de calcular o *takt time* devem ser determinados quais produtos serão fabricados na célula, depois é preciso saber se cada máquina que forma a célula pode completar seu ciclo para cada peça de acordo com o *takt time*.

### **3. SIMULAÇÃO**

A Gestão da Produção tem evoluído constantemente, geralmente focalizada nas necessidades do cliente, para acompanhar o mercado, que atualmente se encontra muito competitivo. Para que as empresas acompanhem o mercado, são necessárias respostas rápidas, para isso as mesmas fazem o uso de técnicas de tomada de decisão que ponderem todos os fatores críticos, a fim de que faça a melhor escolha.

Uma das ferramentas de suporte à decisão que vem sendo aplicada a problemas na Gestão da Produção é a simulação de evento discreto. Esta ferramenta vem sendo usada para modelar sistemas de manufatura e em questões relativas ao *layout* de fábrica, fluxo de processo, sistemas de manuseio de material, planejamento de capacidade, utilização de mão-de-obra, investimento em novos equipamentos, programação da produção, logística e outros.

#### **3.1 Conceitos de Simulação**

Simulação computacional é a representação de um sistema real através de um modelo utilizando o computador, trazendo a vantagem de se poder visualizar este sistema, implementar mudanças e responder a testes do tipo: “o que aconteceria se” (*what-if*), minimizando gastos e tempo (PEREIRA, 2000).

Simulação computacional não é uma teoria, mas uma metodologia de resolução de problemas, é um método de modelagem utilizado para implementar e analisar um procedimento real (físico), proposto em um computador (de forma virtual) ou em protótipos (ensaios), ou seja, simulação é o ato de imitar um procedimento real em menor

tempo e com menor custo, permitindo um estudo detalhado de acontecimentos passados, presentes e futuros (LAW ; KELTON, 1991).

De acordo com Pereira (2000), o objetivo da simulação é estudar o comportamento de um sistema, sem que seja necessário modificá-lo ou mesmo construí-lo fisicamente.

Para compreender e analisar um problema, segundo Banks et al. (1996), alguns termos precisam ser definidos. Uma entidade é um objeto de interesse no sistema e um atributo é uma propriedade de uma entidade. Uma atividade representa um período de tempo de duração especificada, um evento pode ser uma ocorrência instantânea que pode mudar o estado do sistema. Em uma linha de produção, os produtos poderão ser entidades, seus tempos de processamentos poderão ser seus atributos e a transformação do produto poderá ser uma atividade.

Com a modelagem a interatividade com o modelo (representação de um sistema real, na qual somente os aspectos relevantes são considerados), trás vantagens como: facilidade na modificação do modelo, rapidez na obtenção de resultados e possibilidade de se verificar, através de animação, como o processo está sendo conduzido.

Harrel et al. (1996), listam quando a simulação computacional se torna bastante adequada:

1. É difícil, ou talvez impossível o desenvolvimento de um modelo matemático;
2. Quando o sistema possuir variáveis aleatórias;
3. Há complexidade na dinâmica do processo;

4. Deseja-se observar o comportamento do sistema em um determinado período;
5. O uso da animação é importante para visualizar o processo.

Law e Kelton (1991) listam as seguintes vantagens de utilizar simulação para o estudo de sistemas:

- Sistemas complexos que contenham elementos estocásticos que não conseguem ser descritos perfeitamente por modelos matemáticos resolvidos analiticamente podem ser estudados pela simulação;
- Fornece um melhor controle sobre as condições experimentais do que seria possível no sistema real, pois pode fazer várias replicações no modelo designando-se os valores que se deseja para todos os parâmetros;
- Permite a replicação precisa dos experimentos, podendo-se, assim, testar alternativas diferentes para o sistema;
- Permite simular longos períodos em um tempo reduzido;
- É, em geral, mais econômico que testar o sistema real, e evita gastos inúteis na compra de equipamentos desnecessários.

As entradas do programa podem ser as definições do produto, a demanda do produto, as relações do recurso e calendários de trabalho e as saídas são os tempos iniciais e finais para as tarefas no sistema, sendo que esses tempos devem incluir as informações referentes aos códigos de tarefas, produtos defeituosos ou recursos utilizados.

Um dos motivos para utilizar a simulação em um ambiente de manufatura, segundo Banks et al. (1996) é a possibilidade de se obter uma visão ampla dos defeitos de mudanças “locais” neste sistema. Se uma alteração acontece em uma estação de trabalho, o impacto causado por esta mudança no desempenho desta estação pode ser previsto.

### **3.2 Produção Enxuta e Simulação: uma análise do campo de estudo**

Simulação em um chão de fábrica é uma ferramenta útil para a manufatura *lean*. Simulação pode ser considerada barata e segura em comparação ao custo de erros (CZARNECKI; LOYD, 2001).

Simulação pode ser usada para dar suporte e avaliar as técnicas do Sistema de Produção Enxuta e o processo do mapeamento do fluxo de valor. Alguns trabalhos científicos apontam como a simulação pode auxiliar a Produção Enxuta, estes trabalhos são descritos a seguir.

Para Czarnecki e Loyd (2001) a simulação pode auxiliar nos seguintes campos da Produção Enxuta:

- Avaliação do estado presente - identificar problemas no processo de manufatura, tais como grande quantidade de inventário, baixa utilização de máquinas e operadores, esperas excessivas, máquinas quebradas, distância e tempo de transporte.
- Treinamento sobre o mapeamento do fluxo de valor - um modelo pode ser desenvolvido para mostrar o estado atual e futuro.

- Avaliar o estado futuro - simular para avaliar o impacto das oportunidades de melhorias.
- Documentar as oportunidades de melhoria - os resultados da simulação podem ser usados para documentar as oportunidades de melhorias.
- Medir os impactos da melhoria - o modelo de simulação pode ser modificado para incluir as sugestões de melhorias e então rodar o modelo novo para medir o impacto. A aplicação da simulação computacional aumenta a capacidade de fazer mudanças adicionais ou drásticas e observar os efeitos sem haver transtornos no processo de manufatura e causar *down time* e custos desnecessários.

Para McDonald et al. (2002) a simulação pode fazer análise como: variação do *setup*, número de turnos usados na linha de produção que são úteis para a construção do MPF. Além disso, facilitam a visualização do processo, onde melhorias podem ser realizadas.

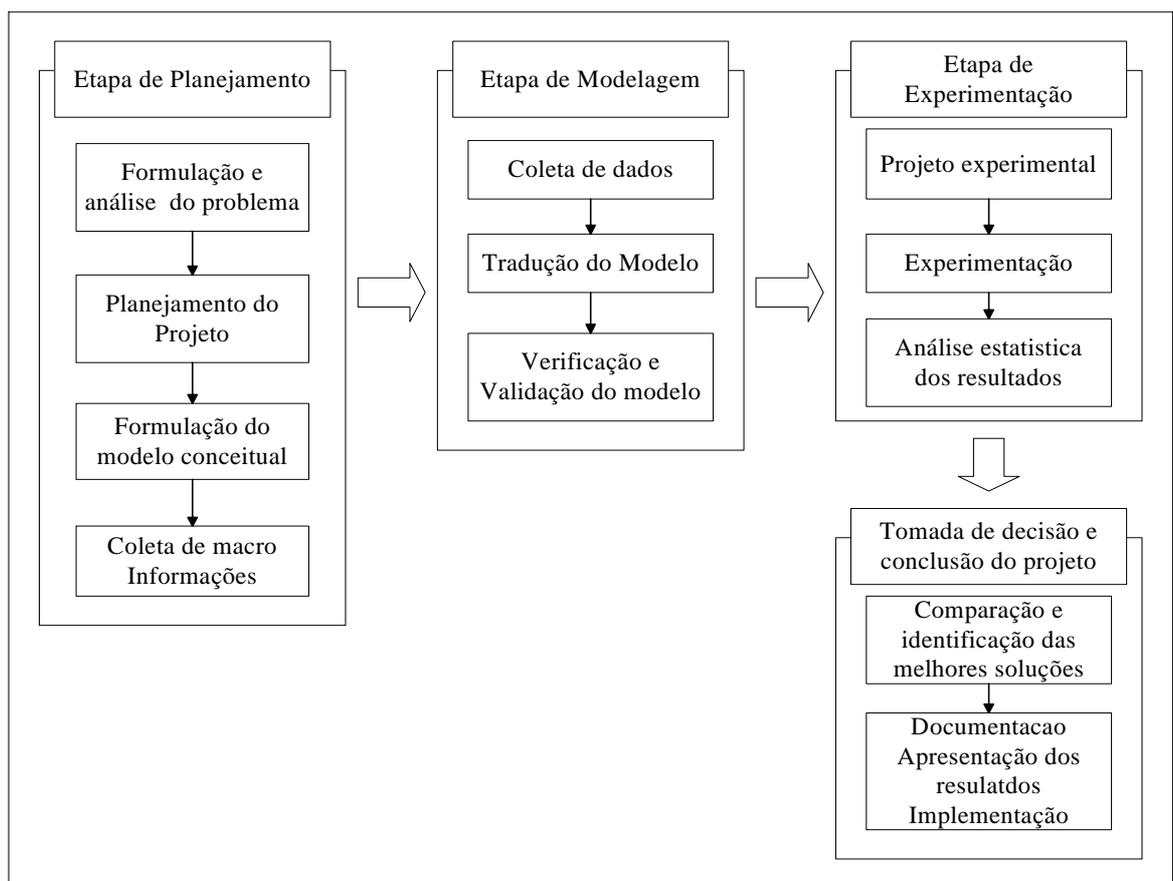
Em Marek et al. (2001) é mostrado que a construção do modelo de simulação que caracteriza uma produção puxada pode ser usado para mostrar o mecanismo da utilização dos sistemas *Kanban* e *Conwip*.

Segundo Manzini et al. (2003) a simulação pode auxiliar na gestão de uma cadeia de suprimento gerenciada pela Produção Enxuta por meio da investigação de alguns cenários da cadeia para mudar o *throughput*, mudança na dimensão de lotes, mudança no número de recursos disponíveis, mudança na adoção de políticas de satisfação na cadeia.

Segundo os autores Loyod (2002), Rosales et al. (2004), Kline (2005) simulação computacional é uma ferramenta que pode ser usada para que estudantes e empresas possam entender e fazer análise sobre os princípios e capacitadores da Produção Enxuta.

### 3.3 Etapas da Simulação

Segundo Freitas (2001) as etapas que envolvem simulação são resumidas de acordo com a figura 3.1:



Fonte: Freitas - 2001

**FIGURA 3.1 - Etapas em um processo de Simulação**

Cada uma das etapas mostradas na figura 3.1, serão descritas a seguir de acordo com Freitas (2001):

### **Etapa 1: Formulação e Análise do Problema**

Inicia-se com a definição do problema a ser estudado de modo que todos possam entender os propósitos e objetivos do estudo. Essa formulação servirá de ponto de partida, mas poderá ser atualizada quando se souber mais a respeito do sistema.

### **Etapa 2: Planejamento do Projeto**

Nesta etapa espera-se ter certeza que a simulação é o método adequado para atingir o objetivo do trabalho e se existem pessoas, suporte, gerência, hardware e software para a realização do trabalho proposto. Deve-se também incluir a especificação dos cenários que serão considerados.

### **Etapa 3: Formulação do Modelo Conceitual**

Traçar um esboço do sistema de forma gráfica ou algorítmica, definindo componentes, descrevendo as variáveis e interações lógicas que constituem o sistema. Geralmente parte-se de um modelo mais simples ao qual vão sendo acrescentados os detalhes até alcançar algo mais complexo que contemple todas as suas características.

#### **Etapa 4: Coleta de Macro-Informações e Dados**

Macro-Informações são fatos, informações e estatísticas fundamentais, derivados de observações, experiências pessoais ou de arquivos históricos. A aquisição da macro-informações e dos dados é facilitada pela observação do modelo conceitual, pois com ele podem ser identificadas as entradas e saídas mais relevantes.

#### **Etapa 5: Tradução do Modelo**

Codificar o modelo numa linguagem de simulação apropriada. Atualmente os esforços dessa etapa diminuíram devido aos avanços em hardwares e principalmente nos softwares de simulação. Então, nesta fase inicia-se a escolha do software que seja apropriado ao propósito do modelo.

Segundo Janssen et al. (1997), as dimensões que determinam à aplicabilidade de ferramentas são: funcionalidade, que inclui métodos de análise, simulação, possibilidade de gerar e documentar informações; facilidade de uso; em que fase a ferramenta pode ser útil e características gerais das ferramentas como custo, apoio ao usuário e aceitação do mercado.

#### **Etapa 6: Verificação e Validação**

Esta etapa é importante, pois serão verificados e validados os dados e o modelo, pois dados inconsistentes ou não acurados podem levar a resultados errados que tiram à credibilidade do estudo.

A verificação consiste em avaliar se os pressupostos e as simplificações foram implementados corretamente no modelo computacional, ou seja, assegurar que o modelo esteja sem erro de sintaxe e/ou lógica. Enquanto validação avalia se apesar dos pressupostos e das simplificações implementadas o modelo comporta-se semelhante ao sistema real.

Portanto, nesta fase é confirmado se: o modelo não tem erros de programação e lógica, o modelo gera informações que satisfazem aos objetivos estabelecidos no estudo; as informações geradas são confiáveis.

### **Etapa 7: Projeto Experimental Final**

Projetar um conjunto de experimentos que produza a informação desejada, determinando como cada um dos testes deva ser realizado.

### **Etapa 8: Experimentação**

Depois que o modelo computacional foi construído e devidamente validado, passamos à fase experimental em que as diversas alternativas em consideração serão testadas. Além disso, através da simulação podemos fazer análises de sensibilidade e do tipo *what if* para avaliar o efeito de possíveis cenários para o problema antes que a decisão ocorra de fato e seja implementada.

### **Etapa 9: Interpretação e Análise Estatística dos Resultados**

Analisar os dados que alimentam o modelo de simulação para verificar se o modelo é do tipo terminal ou não-terminal e para determinar: o período de inicialização (*warmup*), o período simulado e o número de replicações.

### **Etapa 10: Comparação de Sistemas e Identificação das melhores soluções**

Comparar as alternativas entre os cenários existentes com o propósito de identificar a melhor ou a mais adequada.

### **Etapa 11: Documentação**

Para cada cenário testado os dados devem ser cuidadosamente organizados e documentados. A documentação do modelo é necessária para evitar perda de informações quando o modelo tiver que ser estudado ou modificado.

### **Etapa 12: Apresentação dos Resultados e Implementação**

Apresentação dos resultados do estudo de simulação. O analista deve assumir um comportamento parcial frente aos resultados encontrados e às soluções apresentadas.

#### **4. ESTUDO DA APLICAÇÃO DE UM MODELO DE SIMULAÇÃO EM UM AMBIENTE DE PRODUÇÃO ENXUTA**

Nesse capítulo é realizado um estudo de um modelo de simulação em um ambiente de produção enxuta visando avaliar o uso de simulação como ferramenta complementar para auxiliar no desenvolvimento do Mapeamento do Fluxo de Valor Futuro.

O ambiente de produção enxuta foi extraído do artigo, *An Application of Simulation and Value Stream Mapping in Lean Manufacturing*, que tem como autores Yang-Hua Lian e Hendrick Van Landeghem (2002). Este artigo foi escolhido, pois:

- Contém princípios e ferramentas de um Sistema de Produção Enxuta, tais como: *layout* celular, sistema de planejamento e controle puxado de produção, *Kanbans*, supermercados entre os processos e Mapeamento do Fluxo de Valor.
- A descrição do exemplo e o MFV contêm dados que permitem a construção do modelo de simulação, podendo assim verificar a hipótese proposta na pesquisa.
- É um artigo relativamente recente, que relaciona a aplicação da ferramenta de simulação computacional com o Sistema de Produção Enxuta.

A sistematização do desenvolvimento do modelo será descrita a seguir seguindo as etapas de simulação que foram sugeridas por FREITAS (2001).

#### 4.1 Formulação e Análise do Problema

Nesta primeira fase realizou-se a definição do problema. O modelo escolhido representa o chão de fábrica da linha de produção de uma família de produtos de uma empresa que fabrica múltiplos produtos. Esta família de produtos possui três tamanhos diferentes de produtos – pequeno (P), médio (M) e grande (G). A demanda do cliente é de 45 peças por hora, sendo que o *mix* é composto por 33% de pequenas, 50% de médias e 17% de grandes.

O processo de manufatura consiste de materiais adquiridos por meio dos fornecedores, corte de tiras, corte de tiras do tipo A/B, montagem de cabine, montagem de chassi, montagem final e transporte para os clientes.

A ferramenta que é usada para operacionalizar a produção puxada é o sistema *Kanban*, ele é usado para sinalizar que o processo subsequente (cliente) retirará as peças do processo precedente (fornecedor). O controle de produção autoriza a produção de peças por meio do *kanban* de produção e o *Kanban* de requisição faz a movimentação da peça que está sendo produzida entre as estações de trabalho. O número escrito no *Kanban* representa qual o tipo de produto (1-Pequeno, 2-Médio, 3-Grande) que está sendo produzindo, sendo produzida uma peça por vez.

Os produtos são produzidos para um supermercado de produtos acabados, que é mantido como um *buffer* para programar a variabilidade ou a incapacidade do processo.

Os supermercados de peças em processo são localizados após as estações de trabalho corte de tiras, corte de tiras do tipo A/B, sendo que as quantidades de peças que os supermercados devem conter são: duas peças de cada tamanho na primeira estação e nas outras duas uma peça de cada. Conforme o cliente de um processo necessita de itens ele recorre aos estoques do fornecedor, acionando diretamente este processo para que os itens consumidos sejam fabricados e reponham os estoques.

O modelo de simulação possui um conjunto de dados específicos. Que são:

**Cliente** - O cliente inicia a cadeia de suprimentos com o seu pedido (demanda) e finaliza o fluxo com o pedido acabado. O modelo inicia quando uma característica sobre o produto requisitado pelo cliente é mencionada que depois é convertido para uma função do processo para autorizar a montagem final, fabricar componentes ou comprar material. Depois o produto é empacotado e vai para um supermercado de produtos acabados onde clientes os retiram.

**Processo** – O processo recebe sinal do cliente ou do supermercado de trás (*downstream*) para montar, transportar ou reabastecer as peças levadas.

**Supermercado** – O supermercado de produtos em processo é um buffer entre os processos: fornecedores e clientes. O supermercado pertence ao processo de fornecimento e é usado para programar aquele processo e os ajudam a ter uma noção visual das necessidades e usos do cliente. O *kanban* deve ser liberado para sinalizar ao processo fornecedor que o supermercado deve ser reabastecido. Por exemplo, no modelo que está sendo estudado, quando um produto do tipo 1 da estação de trabalho I (processo fornecedor) é levado do supermercado para estação de trabalho II (processo cliente), um *kanban* com o número 1 deve então ser liberado para o processo fornecedor sinalizando que

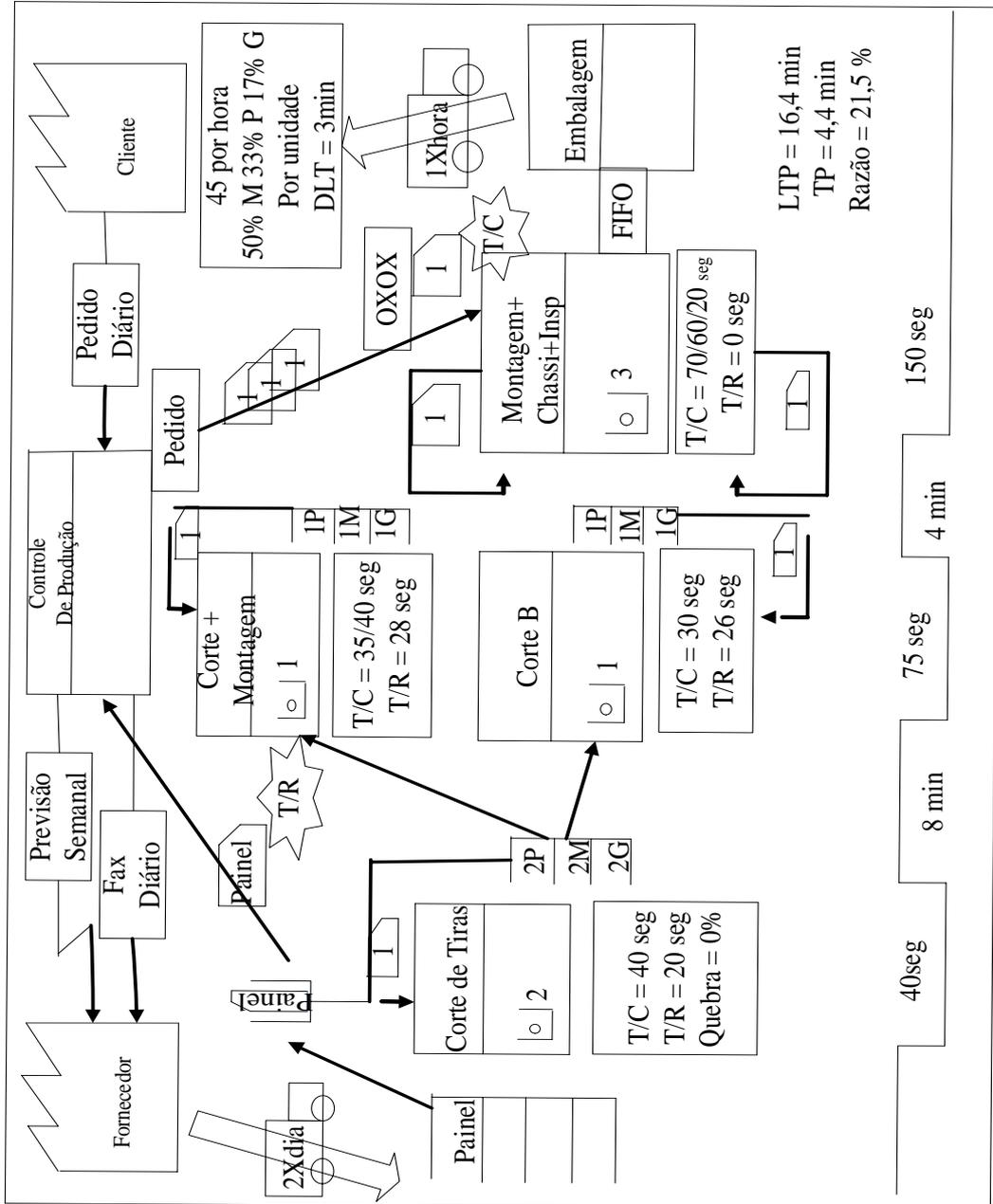
a peça retirada do supermercado deve ser reposta. O supermercado de produtos acabados é um *buffer* entre o empacotamento e o cliente, onde as peças esperam para serem entregues aos clientes.

**Linha de fluxo** (fluxo de linha) – Uma linha de fluxo é usada em caso especial de processo como, por exemplo, uma célula de manufatura. Cada pedido demanda somente um tipo de produto. O cliente faz o pedido, então é dado um sinal para estação de trabalho VI que inclui três estágios de processo – montagem de cabine, montagem de chassis e inspeção final dos produtos.

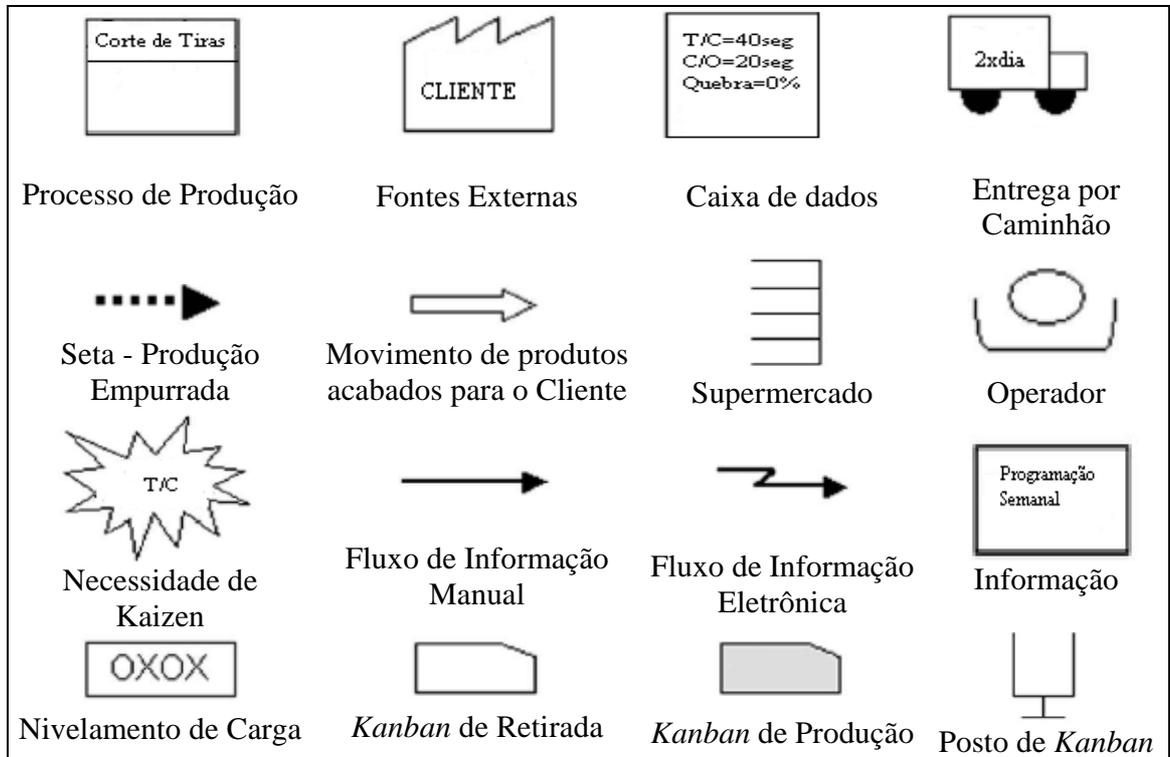
Nesta etapa foram definidos os objetivos do modelo os quais são:

- Fazer um modelo computacional que possa representar as características de um Sistema de Produção Enxuta.
- Que o modelo computacional construído auxilie no desenvolvimento do Mapeamento do Fluxo de Valor Futuro analisando: a quantidade de peças produzidas, a capacidade dos supermercados considerando o tempo de *setup*, o tempo de operação e paradas programadas ou não das máquinas.

Para auxiliar na construção do modelo além das informações sobre o exemplo que foram descritas anteriormente, outros dados foram coletados por meio do Mapeamento do Fluxo de Valor, que foi retirado do artigo usado como referência. A figura 4.1 mostra o desenho do mapa e a explicação dos ícones que são usados no desenho está na figura 4.2.



Fonte: Adaptado de LIAN & LANDEGHEM - 2002  
**FIGURA 4.1 – Mapeamento do Fluxo de Valor Futuro**



Fonte: Rother e Shook (1999)

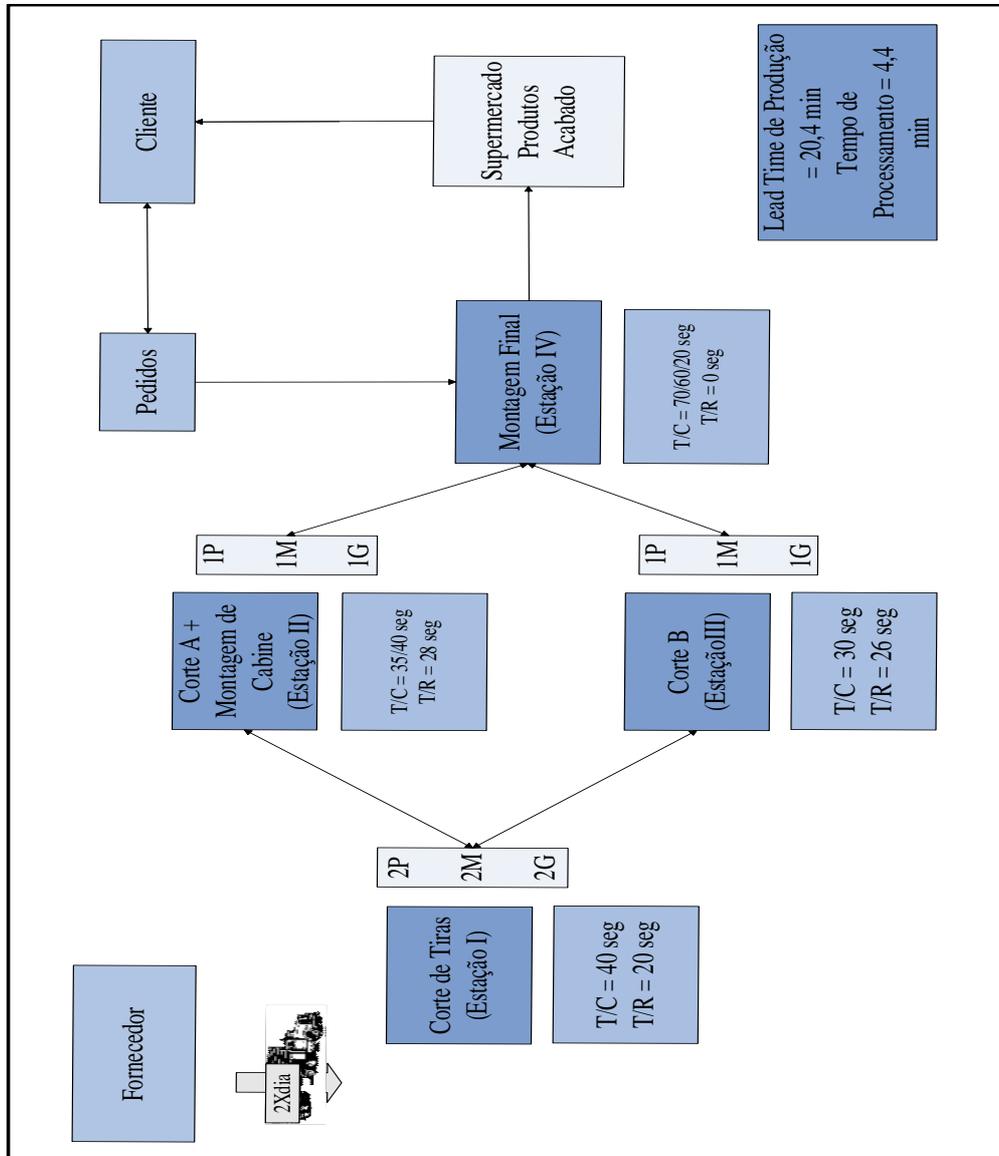
**FIGURA 4.2 – Ícones do Mapeamento do Fluxo de Valor**

## 4.2 Planejamento do Projeto

Os cenários desenvolvidos têm como característica principal a representação do Sistema de Produção Enxuta que pode auxiliar na construção do mapa de fluxo de valor futuro. Então, foram avaliados os recursos necessários para a construção destes cenários e constataram que havia pessoas, *hardware* e *software* para realização do estudo.

### **4.3 Formulação do Modelo Conceitual**

Para auxiliar o entendimento das características e os objetivos do modelo computacional que foi estudado, desenhou-se um esboço do sistema, que está representado na figura 4.3, por meio dos dados e das informações coletados na descrição do modelo e no Mapeamento do Fluxo de Valor, onde as estações de trabalho foram intituladas como estação: I – Corte de Tiras; II – Corte do Tipo A e Montagem de Cabine; III – Corte do Tipo B; IV – Montagem Final.



Fonte: ELABORADA PELA AUTORA de acordo com LIAN & LANDEGHEM - 2002  
**FIGURA 4.3 – Esboço do Sistema**



#### 4.4 Coleta de Macro-Informações e Dados

Efetivou-se a aquisição dos dados por meio das informações descritas na etapa da construção do modelo.

Para realizar a simulação serão usados dados de entrada e saída para cada estação de trabalho, que formarão cenários. Os dados de entrada são: tempo de ciclo, quantidade de máquinas, quantidade de operadores, *setup*, dimensionamento do supermercado e os dados de saída são: % de operação das máquinas, % do tempo de *setup*, % de parada das máquinas, % de utilização dos operadores, quantidade de peças produzidas. Os dados de entrada para construir os cenários 1, 2, 3 e 4, foram coletados do artigo usado como referência e estão na tabela 4.2 e os de saída serão obtidos por meio da simulação computacional e serão mostrados na etapa 12 onde os resultados são apresentados. Na etapa 12 serão mostrados também os dados de entrada e saída dos cenários 5, 6 e 7.

**TABELA 4.1 – Dados de entrada referentes às estações de trabalho**

Estações de Trabalho	Corte de Tiras	Corte tipo A + Montagem de Cabine	Corte tipo B	Montagem de Cabine + Chassi + Inspeção
Tempo de Ciclo	40 seg	35/40 seg	30 seg	70/60/20 seg
Quantidade de máquinas	1	1	1	0
Quantidade de operadores	0	1	0	3
<i>Setup</i>	20 seg	28 seg	26 seg	0
Dimensionamento do Supermercado	2 peças*	1 peça*	1 peça*	Não possui supermercado

Fonte: ELABORADA PELA AUTORA de acordo com LIAN & LANDEGHEM - 2002

\* Esses valores são para cada peça do tipo P, M e G.

## 4.5 Tradução do Modelo

Foi usado para a construção do modelo computacional o *ProModel*, um software de simulação. Para executar a modelagem de um sistema é preciso definir o que o software denomina elementos requeridos e elementos opcionais:

### 1. Elementos Requeridos

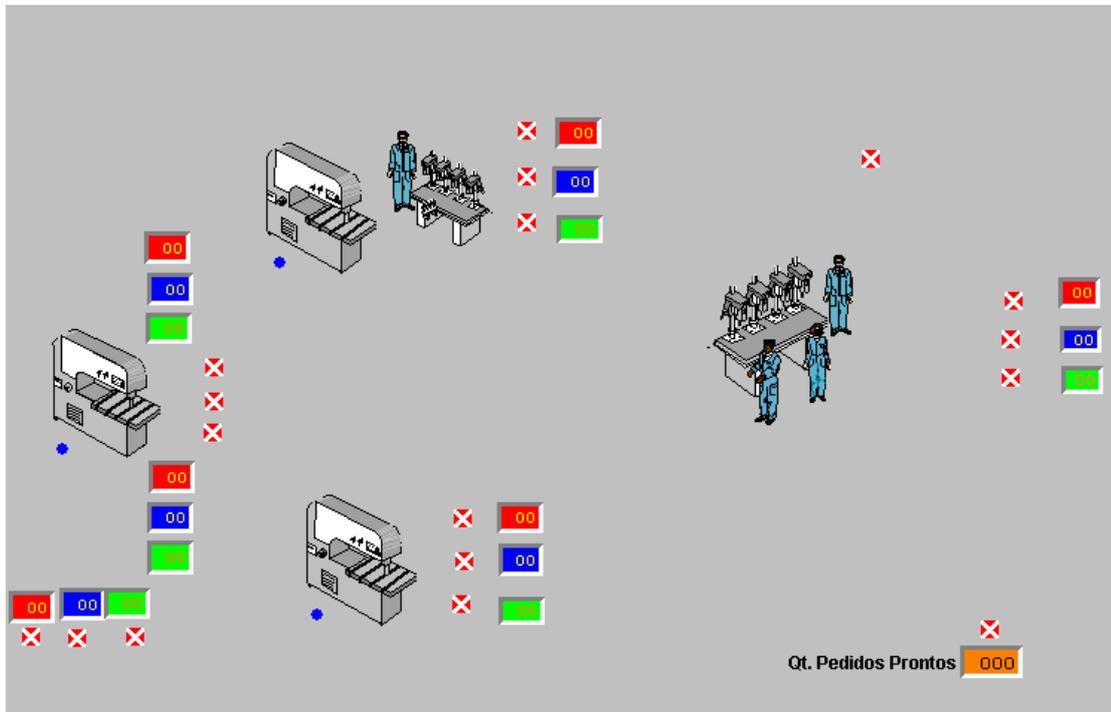
- Locais: lugares para onde os objetos vão para ter operações realizadas sobre eles. Os locais utilizados neste trabalho são: local para matéria-prima e local de chegada para cada tipo de peça, três máquinas, duas bancadas de montagem, supermercados de produtos em processo para as três máquinas e um local de entrega, local para colocar o pedido pronto (supermercado de produto acabado).
- Entidades: elementos que sofrem as ações no sistema. As entidades neste trabalho são os três tipos de peças (P, M e G).
- Chegadas: é definido um mecanismo para determinar os momentos em que uma entidade é introduzida no sistema. Uma chegada indica como cada entidade é introduzida no sistema. Chegam na linha de produção 138, 204 e 65 peças P, M e G respectivamente.
- Processos: a lógica de um processo define qual a operação e o roteamento para cada tipo de entidade em cada local do sistema. De uma maneira ordenada à entidade é nomeada, visto qual local ela está, descrito o que acontece com a entidade neste local e, então, é

indicado o próximo local para onde a entidade deve ir e como será sua locomoção.

2. Elementos Opcionais: ajuda a definir e detalhar mais o modelo.

- Recursos: podem ser qualquer objeto que possa ser usado para transportar materiais entre dois locais, realizar uma operação sobre um material em um local, ou realizar manutenção em um local ou em outro recurso que esteja quebrado. Sendo que eles podem ser: dinâmicos (são vinculados a uma rota) ou estáticos (não são vinculados a uma rota). Os recursos usados no modelo são oito operadores
- Variáveis: possuem um valor numérico e são usadas para armazenar informações ou dão suporte para decisões lógicas.
- Atributos: caracterizam as entidades e os locais.

A interface do modelo computacional construído no ProModel está representada na figura 4.3.



**FIGURA 4.3** – Interface do Modelo Computacional

#### 4.6 Verificação e Validação

1. Colocou-se a quantidade de peças que chegam ao modelo determinístico para cada tipo de peça: 15, 23 e 7 peças do tipo P, M e G respectivamente. Logo, observou-se na tabela de dados de saída gerada pela simulação, que a quantidade de cada tipo de peça que saiu do sistema é igual à quantidade de peças que chegou.
2. Atribui-se o valor zero para o dimensionamento dos três supermercados de produtos em processo, como se trata de um sistema de produção puxada com base nos supermercados, então nenhuma peça foi produzida.

#### 4.7 Projeto Experimental Final

As informações desejadas para auxiliar no desenvolvimento do mapa do fluxo de valor futuro são os seguintes dados de saída:

- % de operação das máquinas;
- % do tempo de *setup*;
- % de paradas das máquinas;
- % de utilização dos operadores;
- Quantidade de peças produzidas.

Para obter estes dados desenvolveram-se então os cenários que contém as seguintes características:

**Cenário 1:** Os dados de entrada deste cenário foram coletados por meio do artigo descrito na etapa construção do modelo para que pudesse ser construído um modelo que representasse um Sistema de Produção Enxuta e também para auxiliar no desenvolvimento principalmente das etapa de formulação e análise do problema até a etapa de verificação e validação da simulação.

**Cenários 2, 3 e 4:** Em uma linha de produção as máquinas sofrem paradas, devido a manutenção ou quebras. Realizou paradas nas máquinas 1, 2 e 3 nos cenários 2, 3 e 4 respectivamente tendo como objetivo além de retratar a realidade, verificar quanto tempo cada uma destas máquinas pode ficar parada sem afetar o *takt time*.

**Cenário 5, 6 e 7:** O dimensionamento do supermercado é um dado importante para construção do mapa futuro. Como um dos fatores que afeta o dimensionamento é o tempo de *setup*, nestes cenários determinou-se um valor para o *setup* das máquinas 1,2 e 3 respectivamente para que se possa observar se a simulação pode auxiliar a encontrar a quantidade de peças que o supermercado deve ter conforme o valor do *setup* e não afetando o *takt time*.

#### **4.8 Experimentação**

Avaliou-se o efeito dos cenários por meio da análise de sensibilidade, e do tipo *what if*. Na análise de sensibilidade colocaram-se as chegadas para cada tipo de peça igual a zero e observou-se que a quantidade de cada tipo de peça que saiu do sistema também foi igual à zero. Teste do tipo *what if*: se aumentar a quantidade de peças colocadas no supermercado, o tempo de *setup* e o tempo disponível para fabricar as peças forem os mesmos, então a quantidade de peças produzidas irá aumentar.

#### **4.9 Interpretação e Análise Estatística dos dados**

Como não se utilizou distribuição de probabilidade para representar o comportamento das variáveis, então não se fez a análise estatística e o tratamento dos dados que alimentam o modelo de simulação.

Para determinar quantas replicações são necessárias, qual deve ser o período simulado para alcançar o estado de regime e o período de *warm-up* primeiro avaliou se o sistema como terminal, pois apresenta condições que o sistema volta a assumir no início de cada rodada de simulação.

Determinou-se o período de inicialização (*warm-up*) sendo de 6 minutos e um segundo. Escolheu-se este valor, pois quando começa a rodar a simulação o modelo é como se estivesse iniciando a linha de produção naquele momento o que não retrata a realidade. A linha de produção já está funcionando, o que inicia naquele momento é a fabricação daquele pedido. Como o processo de fabricação é puxado, ou seja, o fluxo de informação parte do cliente para a última estação de trabalho, então o tempo que demora para primeira peça ser produzida é de 2 minutos e 30 segundos que é o tempo de ciclo da última estação de trabalho. Em uma linha de produção que já está funcionando o tempo real seria aquele a partir da produção da segunda peça, ou seja, o período de inicialização seria de 2 minutos e 31 segundos. Para facilitar a alocação na opção do ícone de *warm-up* dado no *ProModel*, observou-se que a quarta peça fica pronta no tempo igual a seis minutos, então escolheu-se um *warm-up* de 6 minutos e 1 segundo. Logo, as estatísticas dos dados de *outputs* são contadas a partir deste tempo.

O período simulado foi de uma hora, pois as peças são entregues aos clientes a cada uma hora, segundo o artigo onde coletou-se os dados. Fez-se apenas uma replicação do modelo, pois os dados de entrada são determinísticos.

#### **4.10 Comparação de Sistemas e Identificação das Melhores soluções, Documentação e Apresentação dos Resultados e Implementação**

As etapas 10, 11 e 12 sugeridas por Freitas (2001), por serem complementares, foram reunidas.

Os dados de entrada e saída de cada cenário foram documentados por meio de tabelas e serão apresentadas nesta seção. Escolheram-se estes dados, visando atingir o objetivo desta pesquisa em analisar como a simulação pode auxiliar na construção do mapeamento do fluxo de valor futuro.

Para analisar se a linha de produção construída no modelo computacional está produzindo a quantidade mínima de peças usou-se como tempo de referência o *takt time*, sendo o seu valor igual a 80 segundos, ou seja, o mínimo de peças a serem produzidas em 1 hora deve ser 45 peças.

Chega um pedido de cada tipo de peça por vez no chão de fábrica para serem produzidas, com a seguinte seqüência (P,M,G,P,M,G...). Como a quantidade de cada tipo de peça é 33% P, 50% M e 17%G, então quando acabam as peças do tipo G a seqüência da produção é (P,M,P,M...) até acabar as peças tipo P e produzir o restante das peças tipo M.

Os dados descritos a cima foram utilizados em todos os cenários. A seguir os resultados obtidos na simulação foram descritos, para os cenários 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7

**Cenário 1:** A tabela 4.2 mostra os dados de entrada e saída para este cenário. Escolheu-se a lista formatada, gerada pelo *ProModel* deste cenário, que se encontra no anexo, pois esta lista apresenta a lógica de programação do modelo.

**TABELA 4.2 – Dados de entrada e saída referentes ao cenário 1**

	Corte de Tiras	Corte tipo A + Montagem de Cabine	Corte tipo B	Montagem de Cabine + Chassi + Inspeção
Tempo de Ciclo	40 seg	35/40 seg	30 seg	70/60/20 seg
Quantidade de máquinas	1	1	1	Não tem
Quantidade de operadores	Não tem	1	Não tem	3
<i>Setup</i>	20 seg	28 seg	26 seg	Não tem
Dimensionamento do Supermercado	2 peças	1peça	1 peça	Não tem
% de operação das máquinas	54,44	47,64	40,83	Não tem
% do tempo de <i>setup</i>	23,60	33,16	30,77	Não tem
% de paradas das máquinas	0,00	0,00	0,00	Não tem
% de utilização dos operadores	Não tem	55,07	Não tem	94,99/83,04/ 27,78
Quantidade de peças produzidas	50	50	50	50



Dados de Entrada



Dados de Saída

O maior tempo de ciclo das máquinas está abaixo do *takt time* podendo-se produzir mais peças como mostrado no **cenário 1**. Na tabela pode-se observar que foram produzidas 50 peças, sendo 17, 25 e 8 dos tipos P, M e G respectivamente.

Nos **cenários 2, 3 e 4** os dados de entrada são os mesmo do cenário 1 que estão na tabela 4.2. Nestes cenários mostra-se que a simulação pode ajudar a encontrar quanto tempo uma máquina pode ficar parada, sem modificar os dados de entrada que estão dispostos na tabela 4.2 e satisfazendo o *takt time*. Determinou-se o tempo de parada das máquinas atribuindo valores até chegar a um número que desse para a máquina ficar parada e conseguisse não ultrapassar o *takt time*.

**Cenário 2:** Neste cenário realizou-se uma parada de 7 minutos na estação corte de tiras. Os dados de saída deste cenário encontram-se na tabela 4.4.

**TABELA 4.3 – Dados de saída referentes ao cenário 2**

	Corte de Tiras	Corte tipo A + Montagem de Cabine	Corte tipo B	Montagem de Cabine + Chassi + Inspeção
% de operação das máquinas	50,31	43,78	37,64	Não tem
% do tempo de <i>setup</i>	21,94	30,82	25,34	Não tem
% de quebra das máquinas	11,67	0,00	0,00	Não tem
% de utilização dos operadores	Não tem	50,58	Não tem	88,08/75,58/25,00
Quantidade de peças produzidas	45	45	45	45

**Cenário 3:** Neste cenário realizou-se uma parada de 6 minutos na estação de corte tipo A. Os dados de saída deste cenário encontram-se na tabela 4.4.

**TABELA 4.4 – Dados de saída referentes ao cenário 3**

	Corte de Tiras	Corte tipo A + Montagem de Cabine	Corte tipo B	Montagem de Cabine + Chassi + Inspeção
% de operação das máquinas	50,81	44,34	38,15	Não tem
% do tempo de <i>setup</i>	21,94	29,27	28,60	Não tem
% de quebra das máquinas	0,00	10,00	0,00	Não tem
% de utilização dos operadores	Não tem	50,63	0,00	88,58/76,08/25,00
Quantidade de peças produzidas	45	45	45	45

Um dado de saída do **cenário 3** fornecido pela simulação, que também pode ser usado como dado complementar na construção do Mapeamento do Fluxo de Valor Futuro, é a % que a máquina da estação de corte de tiras fica bloqueada devido a parada da máquina da estação de corte A, que é de 9,33%.

**Cenário 4:** Neste cenário realizou-se uma parada de 7 minutos e 30 segundos na estação corte tipo B. Os dados de saída deste cenário encontram-se na tabela 4.5.

**TABELA 4.5 – Dados de saída referentes ao cenário 4**

	Corte de Tiras	Corte tipo A + Montagem de Cabine	Corte tipo B	Montagem de Cabine + Chassi + Inspeção
% de operação das máquinas	50,00	43,75	37,50	Não tem
% do tempo de <i>setup</i>	21,80	30,47	28,30	Não tem
% de quebra das máquinas	0,00	0,00	12,50	Não tem
% de utilização dos operadores	Não tem	50,13	0,00	87,63/75,13/25,00
Quantidade de peças produzidas	45	45	45	45

Utilizando os dados de saída dos **cenários 2, 3 e 4**, pode-se construir um mapeamento com valores mais acurados e além disso obter a % de utilização dos operadores, o que ajuda na construção do mapeamento. A figura 4.4 demonstra como o Mapeamento do Fluxo de Valor Futuro tornar-se com o auxílio da simulação, por meio dos dados coletados no cenário 2.

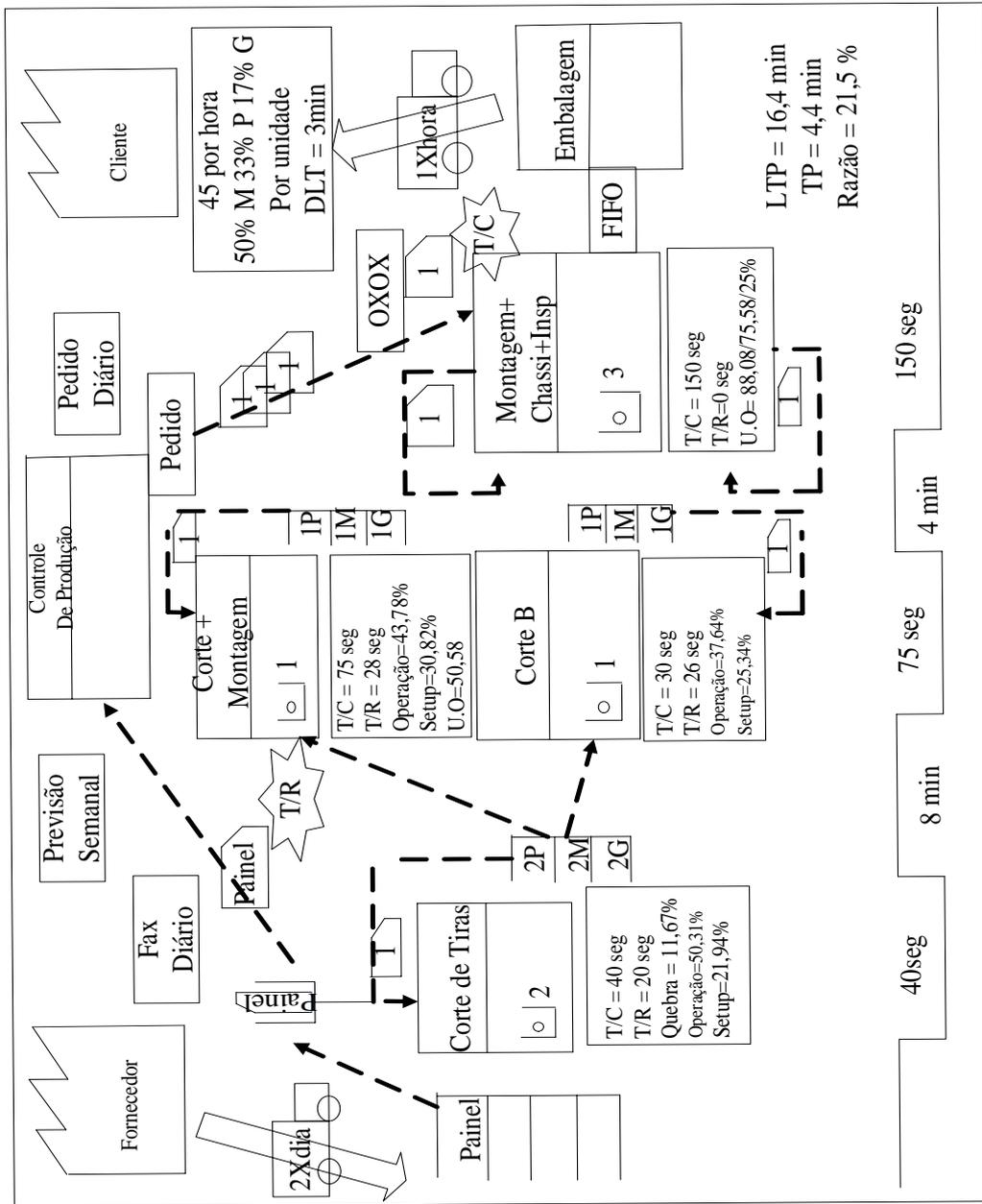


FIGURA 4.4 – Mapeamento do Fluxo de Valor do Cenário 2.

Nos **cenários 5, 6 e 7** alterou-se os seguintes dados de entrada: *setup* e dimensionamento do supermercado, para analisar se a simulação pode ajudar determinar a quantidade de peças em cada supermercado, além das contribuições citadas no cenário 1.

**Cenário 5:** Alterou-se o tempo de *setup* da estação corte de tiras e a quantidade de peças nos supermercados 1, 2 e 3. Estes dados de entrada e os dados de saída estão na tabela 4.6.

**TABELA 4.6 – Dados de entrada e saída referentes ao cenário 5**

	Corte de Tiras	Corte tipo A + Montagem de Cabine	Corte tipo B	Montagem de Cabine + Chassi + Inspeção
Tempo de Ciclo	40	35/40	30	70/60/20
Quantidade de máquinas	1	2	1	1
Quantidade de operadores	0	1	0	3
<i>Setup</i>	60	28	26	0
Capacidade do Supermercado	8	4	4	Não tem
% de operação das máquinas	49,15	44,72	38,33	Não tem
% do tempo de <i>setup</i>	50,47	28,76	26,84	Não tem
% de quebra das máquinas	0,00	0,00	0,00	Não tem
% de utilização dos operadores	Não tem	50,90	Não tem	90,94/77,62/25,56
Quantidade de peças produzidas	46	46	46	46

Considerando um *setup* de 60 segundos na estação corte de tiras observou-se que o menor dimensionamento possível dos supermercados para atender ao *takt time* foi de: quatro peças no supermercado 1 , duas peças nos supermercados 2 e 3.

**Cenário 6:** Alterou-se o tempo de setup da estação corte tipo A e a quantidade de peças nos supermercados 1, 2 e 3. Estes dados de entrada e os dados de saída estão na tabela 4.7.

**TABELA 4.7 – Dados de entrada e saída referentes ao cenário 6**

	Corte de Tiras	Corte tipo A + Montagem de Cabine	Corte tipo B	Montagem de Cabine + Chassi + Inspeção
Tempo de Ciclo	40	35/40	30	70/60/20
Quantidade de máquinas	1	2	1	1
Quantidade de operadores	0	1	0	3
<i>Setup</i>	20	60	26	0
Capacidade do Supermercado	4	3	2	Não tem
% de operação das máquinas	51,11	44,88	40,00	Não tem
% do tempo de <i>setup</i>	17,78	53,18	29,44	Não tem
% de quebra das máquinas	0,00	0,00	0,00	Não tem
% de utilização dos operadores	Não tem	51,11	Não tem	93,16/79,83/26,51
Quantidade de peças produzidas	47	47	47	47

Considerando um *setup* de 60 segundos na estação corte tipo A observou-se que o menor dimensionamento possível dos supermercados para atender ao *takt time* foi de: quatro peças no supermercado 1, três peças no supermercado 2 e duas peças no supermercado 3.

**Cenário 7:** Alterou-se o tempo de *setup* da estação corte tipo B e a quantidade de peças nos supermercados 1, 2 e 3. Estes dados de entrada e os dados de saída estão na tabela 4.8.

**TABELA 4.8 – Dados de entrada e saída referentes ao cenário 7**

	Corte de Tiras	Corte tipo A + Montagem de Cabine	Corte tipo B	Montagem de Cabine + Chassi + Inspeção
Tempo de Ciclo	40	35/40	30	70/60/20
Quantidade de máquinas	1	2	1	1
Quantidade de operadores	0	1	0	3
<i>Setup</i>	20	28	70	0
Capacidade do Supermercado	4	2	2	Não tem
% de operação das máquinas	53,33	46,57	40,26	Não tem
% do tempo de <i>setup</i>	16,39	32,38	56,94	Não tem
% de quebra das máquinas	0,00	0,00	0,00	Não tem
% de utilização dos operadores	Não tem	52,85	Não tem	92,74/79,69/26,11
Quantidade de peças produzidas	47	47	47	47

Considerando um *setup* de 70 segundos na estação corte tipo B observou-se que o menor dimensionamento possível dos supermercados para atender ao *takt time* foi de: quatro peças no supermercado 1 , duas peças nos supermercados 2 e 3.

Por meio dos cenários 5, 6 e 7, observou-se que a simulação pode auxiliar na construção do Mapeamento do Fluxo de Valor realizando análises no dimensionamento do supermercado.

## 5. CONCLUSÕES

Nesta pesquisa analisou-se como a simulação computacional pode auxiliar na construção do Mapeamento do Fluxo de Valor, que é uma ferramenta usada no Sistema de Produção Enxuta. Para isto utilizaram-se os dados de um mapeamento de uma empresa coletados em um artigo e construiu-se um modelo no software *ProModel* que representa um Sistema de Produção Enxuta.

As variáveis de entrada utilizadas para simular e analisar o modelo foram: tempo de ciclo, quantidade de máquinas, quantidade de operadores, *setup*, dimensionamento do supermercado. Por meio dos cenários simulados, foram fornecidos os consequentes dados de saída, sendo que os analisados nesta pesquisa foram: % de operação das máquinas, % do tempo de *setup*, % de parada das máquinas, % de utilização dos operadores e quantidade de peças produzidas.

Escolheram-se estas variáveis de saída, pois na simulação esses valores são calculados de forma mais acurada quando comparados ao processo de cálculo do Mapa de Fluxo de Valor. Além disso, obteve-se a porcentagem de utilização dos operadores que é um dado importante omitido no mapeamento.

Outra informação importante obtida com a simulação foi a análise realizada com a variável *setup* e dimensionamento do supermercado. Verificou-se que quando o *setup* é alto, isto influencia no dimensionamento do supermercado, como foi demonstrado nos três últimos cenários. Demonstra-se também que a simulação pode ajudar a dimensionar o tamanho do supermercado, que é um fator muito importante no mapeamento.

O modelo desenvolvido representa dinamicamente o Mapeamento do Fluxo de Valor, sendo que por meio dele pode ser mostrado como um sistema de produção puxada por *kanban* funciona, o que facilita o entendimento do sistema pelos estudantes de engenharia e pelas pessoas que trabalham com este sistema em empresas, mas que fazem o serviço mecanicamente sem ter uma visão dinâmica do seu funcionamento.

Logo, este trabalho mostrou que a simulação computacional é uma ferramenta útil para auxiliar na construção do Mapeamento do Fluxo de Valor Futuro, bem como pode ser utilizada para demonstrar o funcionamento do Sistema de Produção Enxuta.

### **5.1 Limitações da Pesquisa**

As conclusões são feitas apenas para o modelo construído nesta pesquisa, não podendo ser generalizadas para outros Mapeamentos de Fluxo de Valor.

Não foram construídas lógicas de programação para realizar o nivelamento da produção utilizando o *pitch*.

### **5.2 Sugestões**

Realizar estudo de caso em empresas que tenham ou estejam implementado o Sistema de Produção Enxuta para coletar os dados de entrada para construir um modelo computacional que represente a linha de produção destas empresas fornecendo os dados de saída que possam auxiliar na construção do Mapeamento do Fluxo de Valor.

Desenvolver interfaces com ícones pré-moldados para viabilizar o uso da ferramenta de simulação e Produção Enxuta.

Obter o nivelamento da produção utilizando o *pitch* para que possa ser colocado na lógica da programação.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBUQUERQUE, M.; ARAÚJO, M.; SEVERIANO FILHO, C.. **A Lógica do Sistema Kanban na Indústria Calçadista**: análise de um sistema de programação da produção de solados e palmilhas. Anais do XIX ENEGEP. Rio de Janeiro : ENEGEP, 1999.
- ALVAREZ, R. ANTUNES, J. **Takt -Time**: conceitos e contextualização dentro do Sistema Toyota de Produção. Grupo de Produção Integrada/COPPE & POLI/ UFRJ. Disponível em: [www.propme.ufrj.br/pdf/artigos/alvarezAntunes.pdf](http://www.propme.ufrj.br/pdf/artigos/alvarezAntunes.pdf). Acesso em: 15 setembro 2005.
- BANKS, J.; CARSON, J. S. ; NELSON, B. L. **Discret-Event System Simulation**. Prentice-Hall. 2a Edição. New Jersey, 1996.
- BERENDS, P.; ROMME, G.. **Simulation as a Research Tool in Management Studies**. European Management Journal, v.17, n.6, p.576-583, 1999.
- BRYAN, A. **Research Methods and Organization Studies**. London: Unwin Hyman, 1989.
- CHALLMERS, A. **O que é ciência afinal?** São Paulo: Brasiliense, 1995.
- COCHRAN, D.; LINK, J. **The Importance of Takt Time in Manufacturing System Design**. Massachusetts institute of technology, 1998.
- COCHRAN, D., REYNAL, V.. **Understanding Lean Manufacturing According to Axiomatic Design Principles**. Lean Aerospace Initiative, 1996.
- CORRÊA, H.L. & GIANESI, I.G.N. **Just In Time, MRP II e OPT** – um enfoque estratégico. Editora Atlas. 2ª Edição. São Paulo, 1996.
- CORREA, H.L. et al.; **Planejamento, Programação e Controle da produção** – conceitos, uso e implantação. São Paulo: Atlas, 2000.
- CZARNECKI, H.; SCHROER, B.; RAHMAN, M.. **Using Simulation to Schedule Manufacturing Resources**. Proceedings of the Winter Simulation Conference, 1997.
- CZARNECKI, H.; LOYD, N. **Simulation of Lean Assembly Line for High Volume Manufacturing**. Proceedings of the Huntsville Simulation Conference, 2001.
- CRESWEL, W. **Research Desing** - qualitative and quantitative approaches. London: Sage,1994.
- FELD, W. M. **Lean Manufacturing. Tools, Techniques and how to use them**. Simon & Schuster, NY, 2000.

FREITAS FILHO, P. **Introdução à Modelagem e Simulação de Sistemas** – com Aplicações em Arena. Florianópolis: Visual Books, 2001.

FERNADES, F.; GODINHO FILHO, M.; BONNEY, M. **Integration Materials Flow, Production Control and Quality Control**: a proposal and case study. Submitted to Brazilian Journal of operations and Production Management, novembro – 2005.

FORZA , C. **Survey Research in Operations Mangement**: a process-based perspective. International Journal of Operational & Production Management, 2002.

GHINATO, P. **Sistema Toyota de Produção**: Mais do que Simplesmente Just-in-Time. EDUCS - Editora da Universidade de Caxias do Sul: Caxias do Sul, 1996.

GHINATO, P. **Produção e Competitividade**: Aplicações e Inovações. UFPE: Recife, 2000.

GODINHO, F.M. **Paradigmas Estratégicos de Gestão da Manufatura**: configuração, relações como o Planejamento e Controle da Produção e estudo exploratório na indústria de calçados. Tese do Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de São Carlos, 2004.

GODINHO, F. M. & FERNANDES, F. **Lean Manufacturing**: a literature review which classifies and analyses papers indicating new researchs areas. Gestão da Produção, Jan./Apr. 2004, vol.11, no.1, pp.1-19.

HARREL, C. R.; GHOSH, B. K.; BOWDEN, R. **Simulation Using Promodel**. McGraw-Hill. 1996.

HINES, P. & TAYLOR, D. **Going Lean. A Guide to Implementation**. Lean Enterprise Research Center. Cardiff, UK, 2000.

IRANI, M. **Handbook of Cellular Manufacturing**. New York: Wiley & Sons, 1999.

JANSSEN, W, JONKERS, H & VERHOOSSEL, J. **What Makes Business Processes Special ?** An evaluation framework for modelling languages and tools in Business Process Redesign. Testbed project at the Telematics Research Centre. Disponível em: <http://www.ahaha.demon.nl/docs/caise97.pdf> Acesso em: 18 novembro 2005.

KELTON, W.D., SADOWSKI, R.P. & SADOWSKI, D. A. **Simulation with Arena**. New York: McGraw-Hill, 1998.

KLINE, WILLIAM A. (2005) - **A Course in Manufacturing Systems with Simulation**. American Society for Engineering Education Annual Conference and Exposition.

LAKATOS M.; MARCONI, A. **Metodologia Científica**. 3 ed. São Paulo: Atlas, 2000.

- LAW, A. M.; KELTON, W. D. **Simulation Modeling and Analysis**. New York: McGraw-Hill, 1991.
- LIAN, Y & LANDEGHEM, H. **An Application of Simulation and Value Stream Mapping in Lean Manufacturing**. 14th European Simulation Symposium, 2002.
- LIKER, JEFFREY K. **O Modelo Toyota – 14 Princípios de Gestão do Maior Fabricante do Mundo**. New York: McGraw-Hill, 2004.
- LOYD, N. **Simulation of Information System in a Lean Factory** – Proceedings of the Huntsville Simulation Conference, 2002.
- LUZ, A. & BUIAR, D. **Mapeamento do Fluxo de Valor** – Uma ferramenta do Sistema de Produção Enxuta. Anais do XXVI ENEGEP Florianópolis: ENEGEP 2004.
- MANZINI, RICCARDO *et al.* **Simulation Performance in the Optimization of the Supply Chain**. Journal of Manufacturing Technology Management – Vol. 16, No. 2, 2006, pp.127-144.
- MAREK, RICHARD P. *et. al.* **Understanding the fundamentals of kanban and CONWIP pull systems using simulations**. Proceedings of the Winter Simulation Conference, 2001.
- MCDONALD T, VAN AKEN, E. & RENTES, A. **Utilising Simulation to Enhance Value Stream Mapping: A Manufacturing Case Application**. International Journal of Logistics: Research and Applications, Vol. 5, No. 2, 2002.
- MENEGON, D.; NAZARENO, R. ; RENTES,A. **Relacionamento entre Desperdícios e Técnicas a serem Adotadas em um Sistema de Produção Enxuta**. Anais do XXVI ENEGEP Florianópolis: ENEGEP 2004.
- MEYER, F. **Motion and Time Study for Lean Manufacturing**. Prentice Hall. Upper Saddle River, USA, 2 edição, 1999.
- MILTENBURG, J. **One-piece Flow Manufacturing on U-shaped Production Lines: a tutorial**. IIE Transactions , June 2001, pp. 303-321
- MONDEN, Y. **Sistema Toyota de Produção**. IMAM, São Paulo, 1984.
- MOREIRA, D. **Administração da Produção e Operações**. 5 edição, São Paulo: Pioneira, 2000.
- MOURA, Reinaldo A.. – **Kanban: A Simplicidade do Controle da Produção**. IMAM. São Paulo, 5 edição, 1999.

OHNO, Taichi. - **Sistema Toyota de Produção: Além da Produção em Escala.** Porto Alegre: Editora Bookman, 1997.

PEREIRA, I. C.. **Proposta de Sistematização da Simulação para Fabricação em Lotes.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UNIFEI, Itajubá, MG, 2000.

QUEIROZ, J., RENTES, A. E ARAÚJO, C. (2004). **Transformação Enxuta: Aplicação do Mapeamento do Fluxo de Valor em uma Situação Real.** Anais do XXVI ENEGEP Florianópolis: ENEGEP 2004.

ROTHER, J. & HARRIS, R.. **Criando Fluxo Contínuo.** São Paulo. Lean Institute Brasil, 2002.

ROTHER, J. & SHOOK, M.. **Aprendendo a Enxergar.** São Paulo. Lean Institute Brasil, 1999.

ROSALES, Delia J. et al. - **A Functional Modeling and Discrete Event Simulation based approach to understand the Lean Manufacturing System.** Science, Engineering and Technology Education Conference, 2005.

SCHROER, B. **Simulation as a Tool in Understanding the Concepts of Lean Manufacturing.** Simulation, Vol. 80, Issue 3, March 2004, pp. 171-175 -The Society for Modeling and Simulation International.

SHAH, R. & WARD, P. **Lean Manufacturing: context, practice bundles, and performance.** Journal of Operations Management , 2003, pp. 129–149.

SHINGO, S.. **O Sistema Toyota de Produção - do ponto de vista da engenharia de produção.** Porto Alegre: Bookman, 1996.

SLACK, N. et. al.. **Administração da Produção.** 2ª edição, São Paulo: Atlas, 2002.

SMITH, W. **Time Out.** New York: John wiley & Sons, 1998, 265 p.

SPEAR, S. & BOWEN, H. **Decoding the DNA of the Toyota Production System.** *Harvard Business Review*, Boston: Harvard Business School, v.77, nº 5, p. 97-106, 1999.

TARDIN, G. G. **Kanban e o Nivelamento da Produção.** Universidade Estadual de Campinas - Departamento de Engenharia de Fabricação: Campinas. Dissertação (Mestrado), 2001.

THIOLLENT, M.; JEAN, M. **Pesquisa-Ação em Organizações.** São Paulo: Atlas, 1997.

TUBINO, D. **Sistemas de Produção: A produtividade no chão de fábrica.** Porto Alegre: Bookman, 1999.

VERGARA, S.C. **Projetos e Relatórios de Pesquisa em Administração**. 3<sup>a</sup> edição, São Paulo: Editora Atlas, 2000.

VERMA, Alok K. - **Simulation Tools and Training Programs in Lean Manufacturing – Current Status**. Submitted to NSRP-ASE Program, 2003.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T. (1998) - **A Mentalidade Enxuta nas Empresas: Elimine o Desperdício e Crie Riqueza**. Rio de Janeiro: Editora Campus.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T.; ROOS, D.. **A Máquina que Mudou o Mundo**. 5.ed. Rio de Janeiro: Editor Campus, 1992.

YIN, K. **Estudo de Caso Planejamento e Método**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

## ANEXO

### Locais

Nome	Cap	Unidade	Estatística	Regras
Local_de_Chegada_P	inf	1	Séries Temporais	FIFO
Local_de_Chegada_M	inf	1	Séries Temporais	FIFO
Local_de_Chegada_G	inf	1	Séries Temporais	FIFO
Supermercado_1_P	2	1	Séries Temporais	FIFO
Supermercado_1_M	2	1	Séries Temporais	FIFO
Supermercado_1_G	2	1	Séries Temporais	FIFO
Supermercado_2_P	1	1	Séries Temporais	FIFO
Supermercado_2_M	1	1	Séries Temporais	FIFO
Supermercado_2_G	1	1	Séries Temporais	FIFO
Supermercado_3_P	1	1	Séries Temporais	FIFO
Supermercado_3_M	1	1	Séries Temporais	FIFO
Supermercado_3_G	1	1	Séries Temporais	FIFO
Máquina_de_corte_1	1	1	Séries Temporais	FIFO
Máquina_de_corte_2	1	1	Séries Temporais	FIFO
Máquina_de_corte_3	1	1	Séries Temporais	FIFO
Bancada_de_Montagem_de_Cabine	1	1	Séries Temporais	FIFO
Bancada_Final	inf	1	Séries Temporais	FIFO
Matéria_Prima	inf	1	Séries Temporais	FIFO
Matéria_PrimaM	inf	1	Séries Temporais	FIFO
Matéria_PrimaG	inf	1	Séries Temporais	FIFO
PedidoP	1	1	Séries Temporais	FIFO
PedidoPronto	inf	1	Séries Temporais	FIFO

### Setup

Locais	Entidades	Prioridade	Lógica
Máquina_de_corte_1	Peça_P	Peça_M	wait 20 sec
	Peça_P	Peça_G	wait 20 sec
	Peça_M	Peça_P	wait 20 sec
	Peça_M	Peça_G	wait 20 sec
	Peça_G	Peça_P	wait 20 sec
	Peça_G	Peça_M	wait 20 sec
Máquina_de_corte_2	Peça_P	Peça_M	wait 28 sec
	Peça_P	Peça_G	wait 28 sec
	Peça_M	Peça_P	wait 28 sec
	Peça_M	Peça_G	wait 28 sec
	Peça_G	Peça_P	wait 28 sec
	Peça_G	Peça_M	wait 28 sec
Máquina_de_corte_3	Peça_P	Peça_M	wait 26 sec
	Peça_P	Peça_G	wait 26 sec
	Peça_M	Peça_P	wait 26 sec
	Peça_M	Peça_G	wait 26 sec
	Peça_G	Peça_P	wait 26 sec
	Peça_G	Peça_M	wait 26 sec

**Entidades**

Nome	Velocidade (mpm)	Estatística
Peça_P	50	Séries Temporais
Peça_M	50	Séries Temporais
Peça_G	50	Séries Temporais
Peça_ip	50	Séries Temporais
Peça_im	50	Séries Temporais
Peça_ig	50	Séries Temporais

**Recursos**

Nome	Unidades	Estatística	Velocidade (mpm)
Operador_de_Montagem	1	Por Unidade	50
Operador_de_Chassi	1	Por Unidade	50
Operador_de_Inspeção	1	Por Unidade	50
Operador_de_Montagem_de_Cabine	1	Por Unidade	50

**Processos**

	Entidades	Locais	Lógica de Operações
1	Peça_ip	Local_de_Chegada_P	do wait 0.1 sec while contents <PedidoP>=1
2	Peça_im	Local_de_Chegada_M	do wait 0.1 sec while contents <PedidoP>=1
3	Peça_ig	Local_de_Chegada_G	do wait 0.1 sec while contents <PedidoP>=1
4	Peça_ip	PedidoP	do begin wait 0.1 sec end while V_PA_Montagem=0 or V_PB_Montagem=0 or freeunits <operador_de_Montagem>=0
5	Peça_im	PedidoP	do begin wait 0.1 sec end while V_MA_Montagem=0 or V_MB_Montagem=0 or freeunits <operador_de_Montagem>=0
6	Peça_ig	PedidoP	do begin wait 0.1 sec

```

end
while V_MA_Montagem=0 or V_MB_Montagem=0
  or freeunits <operador_de_Montagem>=0
7  Peça_P      Supermercado_3_P      do
  wait 0.1 sec
  while V_S3P=0
8  Peça_M      Supermercado_3_M      do
  wait 0.1 sec
  while V_S3M=0
9  Peça_G      Supermercado_3_G      do
  wait 0.1 sec
  while V_S3G=0
10 Peça_P      Supermercado_2_P      do
  wait 0.1 sec
  while V_S2P=0
11 Peça_M      Supermercado_2_M      do
  wait 0.1 sec
  while V_S2M=0
12 Peça_G      Supermercado_2_G      do
  wait 0.1 sec
  while V_S2G=0
13 Peça_P      Bancada_Final        ACCUM 2
  COMBINE 2
  Use 1 Operador_de_Montagem for 70 sec
  Use 1 Operador_de_Chassi for 60 sec
  Use 1 Operador_de_Inpeção for 20 sec
14 Peça_M      Bancada_Final        ACCUM 2
  COMBINE 2
  Use 1 Operador_de_Montagem for 70 sec
  Use 1 Operador_de_Chassi for 60 sec
  Use 1 Operador_de_Inpeção for 20 sec
15 Peça_G      Bancada_Final        ACCUM 2
  COMBINE 2
  Use 1 Operador_de_Montagem for 70 sec
  Use 1 Operador_de_Chassi for 60 sec
  Use 1 Operador_de_Inpeção for 20 sec
16 Peça_P      PedidoPronto        V_PedPronto=Entries<PedidoPronto>
17 Peça_M      PedidoPronto        V_PedPronto=Entries<PedidoPronto>
18 Peça_G      PedidoPronto        V_PedPronto=Entries<PedidoPronto>
19 Peça_P      Supermercado_1_P      do
  wait 0.1 sec

```

			<pre> while &lt;V_S1PA=0 or contents&lt;Máquina_de_Corte_2&gt;&gt;0 or aDest&lt;&gt;2&gt; and &lt;V_S1PB=0 or contents&lt;Máquina_de_Corte_3&gt;&gt;0 or aDest&lt;&gt;3&gt; </pre>
20	Peça_M	Supermercado_1_M	<pre> do   wait 0.1 sec   while &lt;V_S1MA=0 or contents&lt;Máquina_de_Corte_2&gt;&gt;0 or aDest&lt;&gt;2&gt; and &lt;V_S1MB=0 or contents&lt;Máquina_de_Corte_3&gt;&gt;0 or aDest&lt;&gt;3&gt; </pre>
21	Peça_G	Supermercado_1_G	<pre> do   wait 0.1 sec   while &lt;V_S1GA=0 or contents&lt;Máquina_de_Corte_2&gt;&gt;0 or aDest&lt;&gt;2&gt; and &lt;V_S1GB=0 or contents&lt;Máquina_de_Corte_3&gt;&gt;0 or aDest&lt;&gt;3&gt; </pre>
22	Peça_P	Máquina_de_Corte_2	wait 35 sec
23	Peça_M	Máquina_de_Corte_2	wait 35 sec
24	Peça_G	Máquina_de_Corte_2	wait 35 sec
25	Peça_P	Bancada_de_Montagem_de_Cabine	<pre> wait 35 sec Use Operador_de_Montagem_de_Cabine for 40 sec Graphic 2 </pre>
26	Peça_M	Bancada_de_Montagem_de_Cabine	<pre> wait 35 sec Use Operador_de_Montagem_de_Cabine for 40 sec Graphic 2 </pre>
27	Peça_G	Bancada_de_Montagem_de_Cabine	<pre> wait 35 sec Use Operador_de_Montagem_de_Cabine for 40 sec Graphic 2 </pre>
28	Peça_P	Máquina_de_Corte_3	<pre> wait 30 sec Graphic 3 </pre>
29	Peça_M	Máquina_de_Corte_3	<pre> wait 30 sec Graphic 3 </pre>
30	Peça_G	Máquina_de_Corte_3	<pre> wait 30 sec Graphic 3 </pre>
31	Peça_P	Matéria_Prima	<pre> do   wait 0.1 sec </pre>

			while<V_MatPrima=0 or contents <máquina_de_corte_1>>0 V_MatPrima=V_MatPrima - 1
32	Peça_M	Matéria_PrimaM	do wait 0.1 sec while<V_MatPrimaM=0 or contents <máquina_de_corte_1>>0 V_MatPrimaM=V_MatPrimaM - 1
33	Peça_G	Matéria_PrimaG	do wait 0.1 sec while<V_MatPrimaG=0 or contents <máquina_de_corte_1>>0 V_MatPrimaG=V_MatPrimaG - 1
34	Peça_P	Máquina_de_Corte_1	wait 40 sec
35	Peça_M	Máquina_de_Corte_1	wait 40 sec
36	Peça_G	Máquina_de_Corte_1	wait 40 sec

#### Roteamentos

	<b>Outputs</b>	<b>Destino</b>	<b>Regra</b>	<b>Lógica de Movimentação</b>
1	Peça_ip	PedidoP	FIRST 1	
2	Peça_im	PedidoP	FIRST 1	
3	Peça_ig	PedidoP	FIRST 1	
4	Peça_ip	EXIT	FIRST 1	V_PA_Montagem= V_PA_Montagem-1 V_PB_Montagem= V_PB_Montagem-1 V_S3P=V_S3P+1 V_S2P=V_S2P+1
5	Peça_im	EXIT	FIRST 1	V_MA_Montagem= V_MA_Montagem - 1 V_MB_Montagem= V_MB_Montagem - 1 V_S3M=V_S3M+1 V_S2M=V_S2M+1
6	Peça_ig	EXIT	FIRST 1	V_GA_Montagem= V_GA_Montagem - 1

				$V\_GB\_Montagem =$ $V\_GB\_Montagem - 1$ $V\_S3G = V\_S3G + 1$ $V\_S2G = V\_S2G + 1$
7	Peça_P	Bancada_Final	FIRST 1	$V\_S3P = V\_S3P - 1$ $V\_S1PB = V\_S1PB + 1$
8	Peça_M	Bancada_Final	FIRST 1	$V\_S3M = V\_S3M - 1$ $V\_S1MB = V\_S1MB + 1$
9	Peça_G	Bancada_Final	FIRST 1	$V\_S3G = V\_S3G - 1$ $V\_S1GB = V\_S1GB + 1$
10	Peça_P	Bancada_Final	FIRST 1	$V\_S2P = V\_S2P - 1$ $V\_S1PA = V\_S1PA + 1$
11	Peça_M	Bancada_Final	FIRST 1	$V\_S2M = V\_S2M - 1$ $V\_S1MA = V\_S1MA + 1$
12	Peça_G	Bancada_Final	FIRST 1	$V\_S2G = V\_S2G - 1$ $V\_S1GA = V\_S1GA + 1$
13	Peça_P	PedidoPronto	FIRST 1	
14	Peça_M	PedidoPronto	FIRST 1	
15	Peça_G	PedidoPronto	FIRST 1	
16	Peça_P	EXIT	FIRST 1	
17	Peça_M	EXIT	FIRST 1	
18	Peça_G	EXIT	FIRST 1	
19	Peça_P	Máquina_de_corte_2	IF aDest=2 and V_S1PA>0	V_S1PA = V_S1PA-1
	Peça_P	Máquina_de_corte_3	IF aDest=3 and V_S1PB>0	V_S1PB = V_S1PB-1 V_MatPrimaP = V_MatPrimaP+1
20	Peça_M	Máquina_de_corte_2	IF aDest=2 and V_S1PA>0	V_S1MA = V_S1MA-1
		Máquina_de_corte_3	IF aDest=3 and V_S1PB>0	V_S1MB = V_S1MB-1 V_MatPrimaM = V_MatPrimaM+1
21	Peça_G	Máquina_de_corte_2	IF aDest=2 and V_S1PA>0	V_S1GA = V_S1GA-1

		Máquina_de_corte_3	IF aDest=3 and V_S1PB>0	V_S1GB= V_S1GB-1 V_MatPrimaG=V_MatPrimaG+1
22	Peça_P	Bancada_de_Montagem_de_Cabine	FIRST 1	
23	Peça_M	Bancada_de_Montagem_de_Cabine	FIRST 1	
24	Peça_G	Bancada_de_Montagem_de_Cabine	FIRST 1	
25	Peça_P	Supermercado_2_P	FIRST 1	V_PA_Montagem= V_PA_Montagem+1
26	Peça_M	Supermercado_2_M	FIRST 1	V_MA_Montagem= V_MA_Montagem+1
27	Peça_G	Supermercado_2_G	FIRST 1	V_GA_Montagem= V_GA_Montagem+1
28	Peça_P	Supermercado_3_P	FIRST 1	V_PB_Montagem= V_PB_Montagem+1
29	Peça_M	Supermercado_3_M	FIRST 1	V_MB_Montagem= V_MB_Montagem+1
30	Peça_G	Supermercado_3_G	FIRST 1	V_GB_Montagem= V_GB_Montagem+1
31	Peça_P	Máquina_de_Corte_1	FIRST 1	
32	Peça_M	Máquina_de_Corte_1	FIRST 1	
33	Peça_G	Máquina_de_Corte_1	FIRST 1	
34	Peça_P	Supermercado_1_P	FIRST 1	aDest=2
	Peça_P	Supermercado_1_P	FIRST 1	aDest=3
35	Peça_M	Supermercado_1_M	FIRST 1	aDest=2
	Peça_M	Supermercado_1_M	FIRST 1	aDest=3
36	Peça_G	Supermercado_1_G	FIRST 1	aDest=2
	Peça_G	Supermercado_1_G	FIRST 1	aDest=3

<b>Chegadas</b>						
<b>Entidades</b>	<b>Locais</b>	<b>Quantidade</b>	<b>First Time</b>	<b>Ocorrências</b>	<b>Frequência</b>	<b>Lógica</b>
Peça_P	Matéria_Prima	100	0	1	0	
Peça_M	Matéria_PrimaM	100	0	1	0	
Peça_G	Matéria_PrimaG	100	0	1	0	
Peça_P	Supermercado_1_P	1	0	1	0	aDest=2
Peça_P	Supermercado_1_P	1	0	1	0	aDest=3
Peça_M	Supermercado_1_M	1	0	1	0	aDest=2
Peça_M	Supermercado_1_M	1	0	1	0	aDest=3
Peça_G	Supermercado_1_G	1	0	1	0	aDest=2
Peça_G	Supermercado_1_G	1	0	1	0	aDest=3
Peça_P	Supermercado_2_P	1	0	1	0	
Peça_M	Supermercado_2_M	1	0	1	0	
Peça_G	Supermercado_2_G	1	0	1	0	
Peça_P	Supermercado_3_P	1	0	1	0	
Peça_M	Supermercado_3_M	1	0	1	0	
Peça_G	Supermercado_3_G	1	0	1	0	
Peça_ip	Local_de_Chegada_P	1	0	15	80	
Peça_im	Local_de_Chegada_M	1	0	23	80	
Peça_ig	Local_de_Chegada_G	1	0	7	80	

**Atributos**

<b>ID</b>	<b>Tipo</b>	<b>Classificação</b>
aDest	Inteira	Entidade

**Variáveis (Global)**

<b>ID</b>	<b>Tipo</b>	<b>Valor Inicial</b>	<b>Estatística</b>
V_PA_Montagem	Inteira	1	Séries Temporais
V_PB_Montagem	Inteira	1	Séries Temporais
V_S2P	Inteira	0	Séries Temporais
V_S2P	Inteira	0	Séries Temporais
V_S1PB	Inteira	0	Séries Temporais
V_S1PA	Inteira	0	Séries Temporais
V_MatPrima	Inteira	0	Séries Temporais
V_MA_Montagem	Inteira	1	Séries Temporais
V_MB_Montagem	Inteira	1	Séries Temporais
V_S2M	Inteira	0	Séries Temporais
V_S3M	Inteira	0	Séries Temporais
V_S1MB	Inteira	0	Séries Temporais
V_S1MA	Inteira	0	Séries Temporais
V_MatPrimaM	Inteira	0	Séries Temporais
V_GA_Montagem	Inteira	1	Séries Temporais
V_GB_Montagem	Inteira	1	Séries Temporais
V_S2G	Inteira	0	Séries Temporais
V_S3G	Inteira	0	Séries Temporais
V_S1GB	Inteira	0	Séries Temporais

V_S1GA	Inteira	0	Séries Temporais
V_MatPrimaG	Inteira	0	Séries Temporais
V_PedPronto	Inteira	0	Séries Temporais