

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO PARANÁ  
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DA PRODUÇÃO  
E SISTEMAS

PROPOSTA DE UMA METODOLOGIA DE ANÁLISE DOS FATORES DE  
COMPLEXIDADE VISANDO A IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DE  
PRODUÇÃO ENXUTA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

MARCO AURÉLIO SAMPAIO

CURITIBA

2005

MARCO AURÉLIO SAMPAIO

PROPOSTA DE UMA METODOLOGIA DE ANÁLISE DOS FATORES DE  
COMPLEXIDADE VISANDO A IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DE  
PRODUÇÃO ENXUTA

Dissertação apresentada como requisito à  
obtenção de grau de Mestre em Engenharia  
da Produção, programa de Pós-Graduação em  
Engenharia da Produção e Sistema (PGEPS),  
Departamento de Engenharia de Produção da  
Pontifícia Universidade Católica do Paraná.  
Orientador: Prof. Dr. Alfredo Iarozinski Neto.

CURITIBA

2005



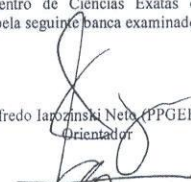
Pontifícia Universidade Católica do Paraná  
Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia

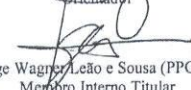
## **TERMO DE APROVAÇÃO**

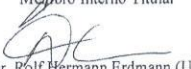
**MARCO AURÉLIO SAMPAIO**

### **PROPOSTA DE UMA METODOLOGIA DE ANÁLISE DOS FATORES DE COMPLEXIDADE VISANDO A IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DE PRODUÇÃO ENXUTA**

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Curso de Mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, do Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia da Pontifícia Universidade Católica do Paraná, pela seguinte banca examinadora:

  
Prof. Dr. Alfredo Jacozinski Neto (PPGEPS - PUCPR)  
Orientador

  
Prof. Dr. George Wagner Leão e Sousa (PPGEPS - PUCPR)  
Membro Interno Titular

  
Prof. Dr. Rolf Hermann Erdmann (UFSC)  
Membro Externo Titular

Curitiba, 28 de setembro de 2005.





*“Estudei para devolver ao país o que havia recebido dele.”*  
Humberto Maturana.

## Resumo

As técnicas de manufatura enxuta têm sido bastante utilizadas por empresas do ramo metal-mecânico, com o intuito de se obter a redução dos custos e melhoria contínua nos processos de fabricação. Lançada inicialmente pelos japoneses da Toyota, o Sistema de Produção Enxuta busca a produtividade através da redução contínua dos desperdícios, a otimização dos recursos produtivos, melhoria contínua dos processos e o envolvimento das pessoas. O uso de Sistemas de Produção Enxuta em empresas ocidentais encontra alguns obstáculos na sua implementação que afetam sua manutenção, levando então ao uso de técnicas mecanicistas. Paralelo ao uso desta técnica de gestão, observa-se também o uso cada vez maior dos preceitos da Teoria da Complexidade para o entendimento de sistemas dinâmicos e sua relação com o meio no qual está inserido. A aplicação de um modelo de implantação de um Sistema de Produção Enxuta em uma empresa legitimamente brasileira encontra nas bases da Teoria da Complexidade um importante referencial para a análise do sistema e suas diversas variáveis. O trabalho em questão propõe uma metodologia para a análise dos fatores de complexidade visando à implantação de SPE's em empresas do ramo metal-mecânico, levando em consideração suas características organicistas. Nestas organizações, o papel do ser humano e suas inter-relações com o meio são fatores determinantes para a eficácia do programa. A aplicação de um modelo de verificação do grau de complexidade nas diversas etapas de um processo produtivo permitiu a avaliação do impacto das diversas ferramentas e técnicas utilizadas na implantação de Sistemas de Produção Enxuta, contribuindo para que a implantação seja realizada de forma mais eficaz. O modelo proposto permite avaliar a necessária abrangência das medidas adotadas. A avaliação de sistemas de produção por métricas da complexidade permitem uma melhor adequação à cultura ocidental de práticas administrativas de produção típicas de empresas orientais.

Palavras chave: Produção Enxuta; Complexidade; Caos.

## Abstract

The lean production techniques have been largely used by companies operating in the metal-mechanical field, with the intent to lower costs and promote continuing improvements to their manufacturing processes. The Lean Production System, first launched by the Japanese company Toyota, aims at improved productivity through continuous reduction of waste, continuous improvement of the processes, and commitment of the people involved in it. The implementation of the Lean Production System in western companies has hit some obstacles regarding its maintenance, which led to the use of mechanist techniques. Along with the usage of this management technique, we can notice an increasing usage of the Complexity Theory precepts to understand dynamic systems and their relation to the environment in which they are inserted. The application of an implementation model for a Lean Production System, in a genuinely Brazilian company, finds an important reference in the concepts of the Complexity Theory to analyse the system and its multiple variables. The current dissertation suggests a methodology for the analysis of complexity factors, in an attempt to implement Lean Production in companies operating in the metal-mechanical field, taking into account their organizational characteristics. In these organizations, the role of the human being and his relationship with the environment are determining factors for an efficient program. The application of a complexity level verification model in the different phases of a certain production process has allowed for the impact assessment of several tools and techniques used in the Thinking Production System implementation, helping the implementation process to be more efficient. The proposed model makes it possible to determine the suitable range of the measures to be adopted. The assessment of production systems according to complexity standards makes it possible to adjust systems, which are typically used in oriental companies, to the production administrative practices of the western culture.

Key words: Production System, Lean Production, Complexity and Chaos.



## Lista de Figuras

|           |                                                                      |     |
|-----------|----------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 01 | Evolução das necessidades relacionadas com o mercado.....            | 31  |
| Figura 02 | Representação esquemática da sistemografia.....                      | 43  |
| Figura 03 | Modelo de observação do problema.....                                | 45  |
| Figura 04 | A percepção da complexidade de sistemas.....                         | 67  |
| Figura 05 | A Casa do Sistema Toyota de Produção.....                            | 83  |
| Figura 06 | As dimensões da complexidade.....                                    | 101 |
| Figura 07 | Visão de um sistema produtivo.....                                   | 108 |
| Figura 08 | Avaliação do fenómeno da interação humana.....                       | 109 |
| Figura 09 | Significado da Sigla QFD.....                                        | 126 |
| Figura 10 | A Casa da Qualidade.....                                             | 128 |
| Figura 11 | Representação esquemática de um sistema.....                         | 133 |
| Figura 12 | Exemplo de um mapeamento de processo.....                            | 137 |
| Figura 13 | Modelo de Alukal.....                                                | 145 |
| Figura 14 | Processo para determinação dos requisitos de clientes.....           | 164 |
| Figura 15 | Verificação de complexidade de processos (1 <sup>a</sup> parte)..... | 165 |
| Figura 16 | Verificação de complexidade de processos (2 <sup>a</sup> parte)..... | 165 |
| Figura 17 | Primeira matriz de relação.....                                      | 170 |
| Figura 18 | Lista de contramedidas.....                                          | 171 |
| Figura 19 | Relações entre contramedidas e desperdícios.....                     | 172 |

## Lista de Tabelas

|           |                                                                 |     |
|-----------|-----------------------------------------------------------------|-----|
| Tabela 01 | Diferença entre a era industrial e a era da informação.....     | 29  |
| Tabela 02 | Evolução do pensamento reducionista.....                        | 62  |
| Tabela 03 | Princípios fundamentais da ISO 9001 : 2000.....                 | 94  |
| Tabela 04 | Aspectos gerais de cada elemento em sistemas complexos.....     | 103 |
| Tabela 05 | Aspectos ligados à engenharia da produção.....                  | 103 |
| Tabela 06 | Tabela para a pontuação de severidade.....                      | 119 |
| Tabela 07 | Tabela para a pontuação da ocorrência.....                      | 120 |
| Tabela 08 | Tabela para a pontuação da detecção.....                        | 120 |
| Tabela 09 | Análise da variedade aplicada a matérias primas e produtos..... | 140 |
| Tabela 10 | Análise da variedade aplicada a processos e estruturas.....     | 141 |
| Tabela 11 | Análise da imprevisibilidade.....                               | 142 |
| Tabela 12 | Análise da incerteza.....                                       | 142 |
| Tabela 13 | A primeira matriz de relacionamento.....                        | 148 |
| Tabela 14 | A segunda matriz de relacionamento.....                         | 151 |
| Tabela 15 | A terceira matriz de relacionamento.....                        | 153 |
| Tabela 16 | Análise da complexidade e as contramedidas de implantação.....  | 154 |
| Tabela 17 | Desperdícios da produção, exemplos, causas e contramedidas..    | 156 |

## Lista de Siglas e Abreviações

|      |                                                  |
|------|--------------------------------------------------|
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas         |
| CMEA | <i>Complex Mode and Effects Analysis</i>         |
| DIN  | <i>Deutsches Institut für Normung</i>            |
| FMEA | <i>Failure Mode and Effects Analysis</i>         |
| HRc  | <i>Hardness Rockwell “C”</i>                     |
| HV   | <i>Hardness Vickers</i>                          |
| ISO  | <i>International Standardization Association</i> |
| JIT  | <i>Just in time</i>                              |
| MIT  | <i>Massachusetts Institute of Technology</i>     |
| PDCA | <i>Plan, do, check and action</i>                |
| QFD  | <i>Quality Function Deployment</i>               |
| SAE  | <i>Society of Automotive Engineers</i>           |
| SMED | <i>Single Minute Exchange of Die</i>             |
| SPE  | Sistema de Produção Enxuta                       |

## SUMÁRIO

|                                                                           |      |
|---------------------------------------------------------------------------|------|
| AGRADECIMENTOS.....                                                       | v    |
| RESUMO.....                                                               | vii  |
| ABSTRACT.....                                                             | viii |
| LISTA DE FIGURAS.....                                                     | ix   |
| LISTA DE TABELAS.....                                                     | x    |
| LISTA DE ABREVIACÕES.....                                                 | xi   |
| SUMÁRIO.....                                                              | xii  |
| 1 PROBLEMÁTICA.....                                                       | 15   |
| 1.1 Contexto.....                                                         | 15   |
| 1.2 Contextualização do Problema .....                                    | 18   |
| 1.2.1 A Influência da Mudança Econômica sobre o Ramo Metal Mecânico ..... | 20   |
| 1.2.2 A Evolução dos Sistemas Produtivos .....                            | 27   |
| 1.2.3 O Sistema de Produção Enxuta como Modelo de Gestão .....            | 30   |
| 1.3 Pergunta da Pesquisa.....                                             | 33   |
| 1.4 Objetivos do Trabalho .....                                           | 33   |
| 1.4.1 Objetivo Geral .....                                                | 34   |
| 1.4.2 Objetivos Específicos .....                                         | 35   |
| 1.5 Justificativa.....                                                    | 35   |
| 1.6 Metodologia do Trabalho .....                                         | 38   |
| 1.6.1 Definição das Metodologias Utilizadas.....                          | 39   |
| 1.6.2 Sistemografia .....                                                 | 41   |
| 1.6.3 Estratégias .....                                                   | 43   |
| 1.7 Estrutura do Trabalho .....                                           | 45   |
| 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....                                              | 49   |
| 2.1 Abordagens da Gestão da Complexidade nos Sistemas Produtivos.....     | 49   |
| 2.2 Estrutura Organizacional .....                                        | 50   |
| 2.2.1 A Estrutura Mecanicista.....                                        | 52   |
| 2.2.1.1 O Sistema Mecanicista na atualidade .....                         | 54   |
| 2.2.2 O Sistema Organicista.....                                          | 56   |
| 2.3 Variações entre Sistemas.....                                         | 58   |
| 2.4 A Criação do Paradigma Cartesiano.....                                | 59   |
| 2.5 Complexidade .....                                                    | 64   |
| 2.6 Caos .....                                                            | 68   |
| 2.7 Tipos de Sistemas .....                                               | 70   |
| 2.8 Sistemas Adaptativos Complexos.....                                   | 72   |
| 2.9 A Produção Enxuta.....                                                | 74   |

|          |                                                                                           |     |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 2.10     | O Sistema Toyota de Produção .....                                                        | 77  |
| 2.10.1   | Os Desperdícios da Produção .....                                                         | 79  |
| 2.10.2   | As Bases Fundamentais do Sistema Toyota de Produção .....                                 | 81  |
| 2.10.2.1 | Just in Time .....                                                                        | 82  |
| 2.10.2.2 | Autonomação .....                                                                         | 84  |
| 2.11     | Cadeia de Valor .....                                                                     | 85  |
| 2.12     | A Norma ISO 9001:2000 como Sistema de Gestão .....                                        | 88  |
| 2.13     | Síntese sobre o Capítulo .....                                                            | 92  |
| 3        | ANÁLISE DOS SISTEMAS DE GESTÃO DA PRODUÇÃO A PARTIR DA ABORDAGEM DA COMPLEXIDADE .....    | 94  |
| 3.1      | Introdução .....                                                                          | 94  |
| 3.2      | A Complexidade e a Gestão dos Sistemas de Produção .....                                  | 96  |
| 3.3      | A Complexidade dos Sistemas de Produção .....                                             | 97  |
| 3.4      | Dimensões da Complexidade .....                                                           | 99  |
| 3.5      | O Impacto da Complexidade na Gestão .....                                                 | 102 |
| 3.5.1    | A Complexidade do Sistema .....                                                           | 102 |
| 3.5.2    | Estrutura, Organização e Inteligência dos Sistemas .....                                  | 104 |
| 3.5.3    | Complexidade do Indivíduo: Crescente Aprendizagem .....                                   | 106 |
| 4        | PROPOSTA METODOLÓGICA PARA IDENTIFICAÇÃO DA COMPLEXIDADE DOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO .....   | 109 |
| 4.1      | Utilização do Conceito do FMEA como Ferramenta de Identificação da Complexidade .....     | 110 |
| 4.1.1    | FMEA: Conceituação Teórica .....                                                          | 110 |
| 4.1.1.1  | Pontuação para Ocorrência, Severidade e Detecção .....                                    | 116 |
| 4.2      | O conceito do QFD Relacionando a Complexidade e os Elementos Operacionais de um SPE ..... | 121 |
| 4.2.1    | A Matriz da Qualidade: .....                                                              | 125 |
| 4.2.2    | Abordagens para o QFD: .....                                                              | 129 |
| 4.3      | Modelo Geral .....                                                                        | 130 |
| 4.4      | Análise das Etapas do Modelo Proposto .....                                               | 133 |
| 4.4.1    | Etapa 01: Identificação dos elementos do sistema produtivo .....                          | 133 |
| 4.4.2    | Etapa 02: Análise da Complexidade do Sistema .....                                        | 136 |
| 4.4.2.1  | Avaliação da Variedade .....                                                              | 138 |
| 4.4.2.2  | Avaliação da Imprevisibilidade .....                                                      | 139 |

|         |                                                                                    |     |
|---------|------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.4.2.3 | Avaliação da Incerteza.....                                                        | 140 |
| 4.4.3   | Etapa 03: Avaliação do Índice de Complexidade.....                                 | 141 |
| 4.4.4   | Etapa 04: Análise Cruzada .....                                                    | 142 |
| 4.4.4.1 | Primeira Matriz de Relacionamento .....                                            | 145 |
| 4.4.4.2 | A Segunda Matriz de Relacionamento .....                                           | 147 |
| 4.4.4.3 | Terceira Matriz de Relacionamento .....                                            | 150 |
| 4.4.5   | Avaliação das Contramedidas em Relação à Complexidade .....                        | 152 |
| 4.5     | Os Desperdícios da Produção e suas Contramedidas .....                             | 153 |
| 5       | APLICAÇÃO DO MÉTODO PROPOSTO .....                                                 | 155 |
| 5.1     | Apresentação do Ambiente a ser Estudado.....                                       | 155 |
| 5.2     | Enxergando a Complexidade do Sistema.....                                          | 157 |
| 5.3     | Aplicando o Modelo .....                                                           | 159 |
| 5.3.1   | Identificação dos Elementos do sistema produtivo (etapa 01).....                   | 160 |
| 5.3.2   | Análise da Complexidade (etapa 02).....                                            | 163 |
| 5.3.3   | Avaliação do Índice de Complexidade (etapa 03).....                                | 164 |
| 5.3.4   | Análise Cruzada (etapa 04) .....                                                   | 166 |
| 5.3.5   | Avaliação das Contramedidas Propostas em relação à Complexidade<br>(etapa 05)..... | 169 |
| 6       | CONCLUSÕES .....                                                                   | 172 |
| 7       | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....                                                    | 177 |

## 1 PROBLEMÁTICA

A análise a seguir objetiva avaliar os cenários atuais relacionados a Sistemas de Produção e sua reação frente ao mercado consumidor. Busca-se também analisar certas facilidades presentes neste mercado e formas de diferenciação frente à possibilidade de uso destas facilidades.

### 1.1 Contexto

Atualmente a maioria das empresas de manufatura e prestação de serviços vive em um ambiente cercado pela forte concorrência, pelas elevadas exigências de qualidade desenvolvidas pelo público consumidor, contínuo desenvolvimento de novas tecnologias de gestão e de produção, necessidade do desenvolvimento de novos bens e serviços, novas formas de venda, enfim, um número elevado de novas abordagens que converge para uma relação bastante antiga: a satisfação de algum tipo de necessidade ou desejo. O desfecho necessário para o seu cumprimento estará vinculado à troca de um bem ou serviço por algum tipo de moeda ou por outro tipo de bem ou serviço.

Estar inserido em um ambiente tão atribulado como esse exige destas empresas uma conexão permanente com o sistema exterior, onde conceitos anteriormente esperados como, por exemplo, o do “equilíbrio”, são explicitamente indesejados.

A exposição de um sistema produtivo ao meio externo tornou-se vital para sua existência. Esta interação permite que novos conceitos, tendências, tecnologias, adentrem e provoquem mudanças. Morin (1998, p.266) afirma que “a organização é, por natureza, ativa, e tanto provê e armazena energia quanto a consome. Ela produz entropia<sup>1</sup> (a degradação do sistema e de si própria) ao mesmo tempo em que produz neguentropia (a regeneração do sistema e de si própria).” A utilização de conceitos da termodinâmica em ciências sociais explica a necessidade da troca de informação com o meio exterior, caso contrário nós temos a “morte térmica”, traduzida em termos de sistema como sendo a completa obsolescência da tecnologia utilizada e dos bens e serviços oferecidos. A desatenção em relação a informações provenientes do mercado representa uma forma de evitar a troca deste tipo de comunicação. Apesar de soar inicialmente como sendo uma incoerência, a desordem, o aumento da complexidade, as mudanças contínuas são elementos essenciais para se evitar a “morte térmica”. Ricardo Semler (1988) *apud* Kanitz (2002), tornou-se famoso por contestar uma das nossas marcas nacionais, a citação em nossa bandeira das palavras “Ordem e Progresso”. Segundo o autor, progresso, por definição, é desordem. Criatividade é bagunça e confusão. “Basta observar a mesa de um cientista, injustamente chamado de louco por suas atitudes desordeiras. O crescimento e a evolução ocorrem quando situações inesperadas abalam a ordem do sistema, obrigando-o a reagir e, por sua vez, crescer e aprender.” (KANITZ, 2002, p.1).

Estas características propiciaram a busca de novos modelos para o entendimento dos sistemas, sendo que as premissas encontradas na Teoria da Complexidade fornecem condições favoráveis para esta descrição. A completa objeção à simpli-

---

<sup>1</sup> Entropia (do grego *entropē*: transformação) é então a parcela sempre crescente, daquela energia inicial do sistema que foi perdida, e que já não poderá ser transformada em trabalho. (Bauer, 1999, p.58).



ficação e a constante necessidade de interação com o meio ambiente completam esta afirmação.

Segundo Iarozinski (2004, p.3) um sistema pode ser considerado como complexo quando são identificáveis três elementos básicos: a variedade, a incerteza e a imprevisibilidade<sup>2</sup>. Retornando a nossa primeira afirmação, podemos fazer uma relação entre as características do ambiente e estes três elementos básicos: a concorrência promove o aumento da variedade (cada vez mais produtos concorrem para um mesmo fim, ficando a cargo do consumidor a escolha do melhor), a percepção da qualidade eleva a incerteza no momento da agregação de valor (o elevado número de opções em relação a funções adicionais, ou determinados avanços tecnológicos) e o contínuo lançamento de novas tecnologias eleva a imprevisibilidade frente à obsolescência. A contínua necessidade de se lançar novos produtos incrementa o número de modelos e obriga as empresas a serem cada vez mais flexíveis. Novas formas de venda, como a que é feita pela Internet, obrigam a empresa a aumentar seu nível de conhecimento em novas tecnologias e principalmente reestruturar seus canais de distribuição. Esta primeira análise relaciona os itens com maior grau de conectividade, sendo que outros tipos de correlação podem ser descritos.

O *status quo* dos mercados em que estas organizações estão inseridas mostra diferentes graus de complexidade, os quais na sua grande maioria tendem a aumentar, obrigando as empresas a estarem cada vez mais adaptáveis a este contexto. O aumento da complexidade afeta o sistema como um todo, sendo que a análise de suas partes mostra que em um sistema, a complexidade se preserva em cada elemento que o compõe. Cada componente deste sistema possui características da complexida-

---

<sup>2</sup> Definições sobre a incerteza, imprevisibilidade e variedade serão verificadas no capítulo 4 a seguir.

de. O todo complexo é constituído, na grande maioria das vezes, por “partes” complexas. Para Morin (2001, p.14) “o desafio da globalidade é também um desafio de complexidade. Existe complexidade, de fato, quando os componentes que constituem um todo (como o econômico, o político, o sociológico, o psicológico, o afetivo, o mitológico) são inseparáveis.” Para o autor o reducionismo, a tentativa de se entender as partes de forma isolada e a própria segmentação do conhecimento são condições inadequadas para conviver com a dinâmica deste tipo de sistema.

A teoria da complexidade propõe um modelo para a compreensão de sistemas organizacionais, além de permitir que ações sejam lançadas com o intuito de se manter um nível de entendimento sobre o estado atual das coisas e permitir ao observador a sua adaptabilidade ao ambiente. A adaptabilidade está fortemente relacionada ao desenvolvimento e à aprendizagem da organização.

A simplicidade aparente esconde um todo complexo. Bevilacqua *et al* (1999, p.167) afirma que “comportamentos globais muito complicados podem resultar da interação de sistemas dinâmicos individuais muito simples.” Desta forma, muitos sistemas naturais considerados complexos, baseados principalmente na auto-organização, encontram formas eficazes de manter a sua sobrevivência.

## 1.2 Contextualização do Problema

O Brasil sofreu uma profunda mudança em seu cenário econômico após 1990. Uma economia marcada pelo protecionismo inicia um processo de abertura que

iria alterar de forma contundente os rumos do gerenciamento das empresas instaladas no país. Segundo Grassi (2001, p.2) a base do capitalismo brasileiro, anterior a 1990, estava apoiada sobre três colunas básicas:

- ü A empresa estatal, cujas bases foram lançadas em 1930 pelo então Presidente da República do Brasil, Getúlio Vargas;
- ü A grande empresa familiar nacional (como a Votorantin)
- ü A empresa estrangeira em alguns segmentos estratégicos (como o automobilístico e o farmacêutico).

Esta mudança é marcada pela ocorrência de cinco processos, os quais ficaram evidentes se analisarmos o caminho percorrido pelo capitalismo brasileiro: o processo da globalização, a abertura do mercado, a estabilização interna de nossa economia, a privatização de grandes estatais e a crescente conscientização para a qualidade do consumidor nacional. Acrescentemos ainda a migração dos interesses econômicos do setor financeiro para o produtivo. Estes processos provocaram importantes alterações na forma de gerenciamento de nossas organizações.

Cada processo contribuiu para a mudança de um cenário: o enfoque da proteção ao produto local, que favorecia os responsáveis pela manufatura e pelo fornecimento de serviços, sofreu severa mudança de prioridade, colocando a satisfação do consumidor final como principal objetivo. O processo de globalização pode ser considerado como o único onde o Governo Brasileiro não teve atuação direta, uma vez que se tratou de um fenômeno mundial. Os demais foram fortemente influenciados pela nova política econômica. A abertura do mercado levou a uma maior gama de bens e serviços, reduzindo os preços e aumentando a qualidade. Os efeitos positivos da implanta-

ção na sociedade brasileira do Código de Defesa do Consumidor<sup>3</sup> têm afetado a qualidade dos produtos oferecidos pelas empresas manufatureiras nacionais e pelas empresas fornecedoras de serviços. Isso leva a um crescimento importante no quesito qualidade final dos bens e serviços adquiridos. O consumidor brasileiro passa a ser o detentor de uma poderosa arma, que aos poucos eleva os níveis de exigência para com os produtos consumidos e também para com os serviços contratados.

#### 1.2.1 A Influência da Mudança Econômica sobre o Ramo Metal Mecânico

No início da década de 80 as empresas brasileiras ligadas ao ramo metal mecânico começavam a ser apresentadas a uma nova família de equipamentos de usinagem de metais, onde as funções operacionais necessárias ao processamento eram controladas eletronicamente. Segundo Caldeira (2004, p.55) “estas máquinas passaram a depender cada vez menos de *hardware* e ter seu funcionamento baseado mais no *software*.”

Estes equipamentos foram os responsáveis por uma nova revolução industrial no setor. As chamadas máquinas CNC (Comando Numérico Computadorizado) foram inicialmente consideradas como o verdadeiro substituto do oneroso, imprevisível e complexo operador de máquinas e equipamentos. No seu lugar entraria alguém com a singular função de iniciar o ciclo de operação através do simples acionamento de um

---

<sup>3</sup> N.A: Apesar de ser pouco conhecido na sua essência (estima-se que cerca de 1% da população leu o código), o efeito de sua existência provocou considerados avanços neste cenário.

botão de partida. Semler (1988) avança um pouco mais neste raciocínio afirmando que o sonho maior das empresas de manufatura era a definitiva troca do elemento humano por máquinas: “[...] ou trocarem esse bicho complicado e ingrato, o ser humano, por coisas que piscassem luzinhas coloridas e não reclamassem de dores lombares, não engravidassem, e não tivessem o mau hábito de interromper a produção para uma coisa tão dispensável quanto ir ao banheiro.” Apesar da exarcebada crítica, o autor consegue expressar uma situação que se fez presente em vários momentos da evolução dos sistemas produtivos.

As máquinas CNC eram privilégios de poucos e a sua presença ou não dentro de um ambiente fabril contribuía para a construção de um paradigma que se mantém até hoje: a ocorrência de equipamentos CNC começa a ser considerada como a diferença entre se ter repetibilidade em qualidade ou não, ou em se ter produtividade e lucratividade. Segundo Vermulm (2000, p.46) “a difusão de máquinas-ferramenta iniciou-se entre as grandes empresas e filiais de empresas estrangeiras, sobretudo nas indústrias mecânica e automobilística.” Segue o autor dizendo que “ao longo dos anos 80 a difusão atingiu as pequenas e médias empresas em um número maior de setores industriais.” (VERMULM, 2000, p.46).

O ritmo de adoção desta nova tecnologia ocorreu de forma distinta entre as várias empresas componentes do setor metal mecânico. As grandes empresas nacionais e as empresas estrangeiras mantiveram suas posições de liderança com a introdução da eletrônica nos seus produtos e processos. Vermulm (2004, p.50) afirma que “as médias empresas apenas adotaram a eletrônica a partir de meados da década de 80, e dada a velocidade de aperfeiçoamento dessa tecnologia, essas empresas ficaram tecnologicamente mais atrasadas em relação ao bloco de empresas líderes.” Por

outro lado, a maioria das pequenas empresas sequer utilizavam tecnologia eletrônica nos seus produtos e nos seus processos produtivos.

Segundo o SENAI (2002, p.55) a chegada do CNC não representou uma ruptura radical e absoluta entre tecnologias. Não se pode pensar numa era pré-CNC e em outra pós-CNC, já que, ainda hoje, os equipamentos convencionais existem em grande quantidade nas empresas metal mecânicas nacionais. O autor identifica de forma clara o início desta mudança:

Aqui, interessa destacar que a introdução dos novos equipamentos não foi acompanhada, imediatamente, pela chegada de um novo e diferente profissional. Passado o impacto inicial, os trabalhadores foram se adaptando, seja por meio de treinamentos específicos, seja, na sucessão das gerações, pela absorção de novos técnicos já formados na convivência com as máquinas informatizadas, o que transferiu para os debates políticos e, principalmente, acadêmicos as avaliações sobre as consequências da utilização dos equipamentos informatizados pelas indústrias. (SENAI, 2002, p. 55).

A aquisição desta nova tecnologia por empresas do ramo metal-mecânico, começa a ocorrer nos meados dos anos 80, quando surgem as primeiras máquinas produzidas pela indústria nacional. Com a abertura do mercado e o fim do protecionismo que cercava edições anteriores da Lei de Proteção à Informática, houve redução nas alíquotas de importação e um grande aporte de tecnologia de automação para a construção de novos equipamentos. A oportunidade de se importar tecnologia eletrônica a um preço mais competitivo reduziu o valor final dos produtos e tornou os equipamentos CNC acessíveis ao público interessado. O que era uma vantagem para poucos, passou a ser um objeto de consumo normal no meio empresarial metal mecânico.

A partir do momento que ocorre a utilização dos equipamentos CNC por um número maior de usuários, surge um novo paradigma em relação ao uso deste tipo

de equipamentos. Após algum tempo de utilização, a democratização desta nova tecnologia levou à bancarrota a possível substituição do homem organismo pelo homem máquina.

Descobriu-se então que o novo operador de máquinas precisa desenvolver habilidades diferentes daquelas dos antigos operadores de máquinas convencionais: o raciocínio lógico, espacial, matemático era desejado em detrimento da força física. Um sistema cartesiano colocava o homem entre uma programação recheada de símbolos e letras e o produto final<sup>4</sup>. Surgiu também a necessidade de novas tecnologias de ferramentas de corte, onde a padronização de sua geometria era algo tão necessário quanto a correta formulação de um programa de usinagem. A figura do especialista ferramenteiro, que tinha lugar certo em qualquer ambiente de manufatura, foi substituído pelos chamados “Programas de Fornecimento de Ferramentas e Insertos de Usinagem.” A aplicação de uma ferramenta passa agora a ser regida por uma padronização (por exemplo: as normas ISO apropriadas). O operador passa a ter um maior domínio sobre a tecnologia empregada e o aporte de novas formas de processamento torna-se sua forte aliada.

A possibilidade da redução da complexidade, esperada pela mecanização operacional deste tipo de equipamento, não ocorreu. O paradigma foi alterado, mas características próprias da complexidade se mantiveram. Conclui-se que a mudança de tecnologia considerada inicialmente como uma forma de redução da complexidade e um retorno à mecanização, não foi possível. O que ocorreu é que novas competências emergiram desta mudança, visto que o próprio fenômeno da emergência é uma carac-

---

<sup>4</sup> N.A. A linguagem dos programas utilizados em máquinas CNC são escritos através do uso de sistemas de coordenadas cartesianas representadas geralmente pelas letras X, Y e Z seguidas de um determinado número que indica sua posição. Demais funções de programação também se utilizam letras e números.

terística de um sistema complexo, conforme veremos a seguir. O público envolvido com esta nova tecnologia carece de uma maior quantidade de informações, ou seja, houve um considerável crescimento na variedade. Por exemplo, o uso das ferramentas de corte necessita de um vasto programa para que ocorra a máxima eficiência de um processo de usinagem. Esta tarefa era anteriormente realizada pelo “Afiador de Ferramentas”. Os programas de ferramentas de corte são o resultado de uma tecnologia que também apresenta vultoso crescimento. Aliada ao próprio desenvolvimento dos equipamentos de usinagem, uma indústria paralela se especializa cada vez mais em novas tecnologias para reduzir os esforços de corte e propiciar maior eficiência com os tempos de usinagem cada vez menores.

O próximo passo ocorre quando da popularização de conceitos de sistemas da qualidade e gestão. Inicialmente apresentados ao mercado em 1994: a Norma ISO 9000 começa a participar mais e mais do universo corporativo. Associados a este movimento vieram os conceitos da Qualidade Total, 5S, kaizen, kanban, JIT, SPE, entre outros. O início da globalização, a quebra da proteção de mercado e a alta concorrência impõem uma nova lei ao mercado: produzir com custo baixo, qualidade e diferenciação. Werkema (1995, p.2) afirma que a qualidade transcende seu plano inicial e passa a possuir dimensões mais abrangentes: atendimento, custo, disponibilidade e segurança na aquisição.

A característica mais importante do caso brasileiro é a adesão de empresas de todos os setores (indústrias de transformação e de construção, comércio, serviços - inclusive o serviço público - e o setor agrícola). Esse processo começou na década 70, especialmente para as empresas fornecedoras do programa nuclear, quando a exigência de garantia de qualidade dos equipamentos obrigou as empresas brasi-



leiras a buscar tecnologia e gerência de padrão mundial. O avanço do movimento para a qualidade tomou força dentro das empresas fornecedoras de autopeças, a partir do início dos anos 90.

Aliados à tecnologia de transformação agora mais acessível, os conceitos de qualidade se tornaram bem conhecidos pelas empresas do ramo. Pesquisas realizadas em empresas paranaenses mostram que o número de certificações cresceu nos últimos anos. Segundo aponta a VIII Sondagem Industrial:

51,81% das empresas entrevistadas ainda não possuem nenhum certificado de qualidade, 13,65% estão implantando. 22,28% (em 2002 eram 19%, em 2001 eram 15,73%, em 2000 eram 10,28%, em 1998 eram 11,3%, em 1996 eram 8,09% e em 1995 eram 5%) têm ISO 9000; 1,95% têm QS 9000, 3,62% têm ISO 14000; 0,28% têm OHSAS, e 6,41 % têm outros certificados. (SEBRAE, 2004, p.18).

Outro aspecto importante relacionado com a transformação em empresas do setor metal mecânico refere-se à matéria prima. As necessidades de matéria prima são supridas por um mercado relativamente restrito onde os produtores, principalmente de aço e alumínio, se reduzem a um pequeno conglomerado de grandes empresas. Basicamente todos “bebem da mesma fonte”, ocorrendo alguma distinção maior para os fornecedores de materiais fundidos e forjados. Ao fazer parte de uma cadeia tão seletiva, a matéria prima também segue uma padronização para a qualidade e para sua identificação, uma vez que é necessário seguir alguma norma internacional na codificação deste tipo de produto (por exemplo: as normas SAE em empresas americanas e as normas DIN em empresas alemãs).

Conclui-se que três principais requisitos necessários à transformação nas empresas metal mecânica necessária ao atendimento das necessidades de um suposto mercado, podem ser considerados como sendo acessíveis:

- ü Máquinas e equipamentos.
- ü Modelos de Sistemas de Gerenciamento.
- ü Matéria prima.

O quarto elemento para podermos ter uma organização refere-se à mão de obra, a qual sofre influências tanto de sistemas de qualidade, quanto do senso de globalização atualmente imposto a nossa sociedade. O posicionamento do elemento humano frente a uma organização, já considerando que atualmente o contato com novas tecnologias de produção e gestão pode ser tratado como facilidades, torna-se algo imprescindível para a qualidade e produtividade. Da inserção do elemento humano em ambientes complexos, emerge a necessidade de se estudar este relacionamento. Enfim, para o mercado altamente competitivo no qual estamos inseridos, o que pode ser considerado como vantagem competitiva?

A adoção do elemento humano como meio mais importante da operacionalização não permite mais a utilização de sistemas mecanicistas para o gerenciamento. Para Semler (1988, p.56) a relação entre o trabalhador e o empregador passou por um período de aceitação inicial até o momento em que certas condições foram re-negadas. Para o autor, trabalhadores americanos e europeus foram os primeiros a “duvidar do mérito de viver em ambientes insalubres e esgotarem-se física ou mentalmente a troco de um punhado de notas que garantiam sua sobrevivência.” (SEMLER, 1988, p. 56). É importante assumir que o homem faz parte de um sistema complexo, ora como elemento fundamental, ora como parte integrante. O aumento da complexidade do Sis-

tema Produtivo deve ser confrontado com a complexidade inerente do indivíduo e da sociedade da qual ele faz parte. DiSério e Duarte (2000, p.2) afirmam que “saímos da era da produção em massa, passamos pelo processo de mecanização, evoluímos para máquinas de controle numérico e hoje estamos na era dos sistemas flexíveis e da integração.” A flexibilidade e a integração ocorrem em ambientes complexos, onde há interação do homem com o sistema. O melhor entendimento disso resulta em ações voltadas à melhoria da produtividade. Podemos concluir que todos têm acesso à estrutura (máquinas, matéria prima, modelos de gerenciamento), o diferencial está na integração entre diversas tecnologias e o elemento humano.

### 1.2.2 A Evolução dos Sistemas Produtivos

Kaplan e Norton (1997) consideram que após o término da era industrial (de 1850 até cerca de 1975, segundo os autores), onde as empresas bem sucedidas eram aquelas que incorporavam as novas tecnologias aos ativos físicos e estes respondiam de forma imediata sob a forma da produção em massa, o sucesso de uma organização está vinculado ao que eles chamam de “ativos intangíveis ou invisíveis” (KAPLAN e NORTON, 1997, p.3); elementos importantes presentes na Era da Informação. Os mesmos autores enumeram um novo conjunto de premissas operacionais necessárias para que um ambiente organizacional esteja em sintonia com a era da informação. A tabela 01 a seguir mostra quais as diferenças entre a era industrial e a era da informação:

| Premissas                     | Era Industrial                                                                                                                                                                                             | Era da Informação                                                                                                                                                                                         |
|-------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Processos Inter-funcionais    | Buscavam vantagens competitivas através da especialização de habilidades funcionais. Ocorria a dificuldade de comunicação devido a diferenças de conhecimento entre departamentos.                         | Os departamentos têm visão holística, a qual abrange todas as funções tradicionais. Combina a especialização funcional com a agilidade, eficiência e qualidade da integração dos processos.               |
| Segmentação de Clientes       | As empresas da era industrial prosperavam oferecendo bens e serviços a preços baixos, porém padronizados.                                                                                                  | A era da informação oferece produtos customizados, sem penalizar seus custos devido a variedade e baixo volume.                                                                                           |
| Escala Global                 | A preocupação das empresas da era industrial era o mercado local, devido ao fato de que seus clientes e competidores estavam próximos. De certa forma, a logística de distribuição dificultava a expansão. | As empresas da era da informação concorrem com as melhores empresas do mundo. Os investimentos necessários podem exigir a presença do mercado global para gerar o retorno esperado.                       |
| Inovação                      | Os saltos tecnológicos eram mais distantes uns dos outros. Os ciclos de vida dos produtos seguiam esta tendência                                                                                           | Os ciclos de vida tendem a diminuir em ritmo intenso. A vantagem competitiva numa geração da vida de um produto não garante a liderança na próxima plataforma tecnológica.                                |
| Trabalhadores de conhecimento | Forte distinção entre dois grupos de funcionários: a elite intelectual formada por gerentes e engenheiros e o grupo composto pelas pessoas que, de fato, fabricavam os produtos e prestavam os serviços.   | Todos os funcionários devem agregar valor pelo que sabem e pelas informações que podem fornecer. Investir, gerenciar e explorar o conhecimento de cada funcionário passou a ser fator crítico de sucesso. |

Tabela 01 – Diferenças entre a era da informação e a era industrial – adaptado de Kaplan e Norton (1997).

A observação dos autores reforça a impossibilidade de se ter na produção máquinas comandadas por sofisticados sistemas eletrônicos e mecânicos operadas por alguém alienado em relação a esta tecnologia. Segundo Kaplan e Sweeney *apud* Kaplan e Norton (1997, p.6) “as máquinas são projetadas para operar automaticamente. A função das pessoas é pensar, solucionar problemas, garantir a qualidade, e não olhar as peças passando.” O entendimento de um sistema organizacional como complexo encontra na figura do homem organismo seu principal elemento. A forma de como ele observa o todo complexo, as informações que ele retira deste sistema e as medidas que serão tomadas para corrigir ou melhorar a situação atual elevam a eficácia de sistemas organizacionais. A compreensão de sistemas complexos como uma ciência está cada vez mais em voga por considerar que quase todos os sistemas vivos e a maioria dos sistemas sociais são complexos e ao mesmo tempo dinâmicos. O homem inserido

em uma organização está sujeito a várias condições, sendo que a resposta a cada impulso interno ou externo levará a reações previsíveis ou não.

Kaplan e Norton (1997, p.6) enumeram as seguintes iniciativas para que ocorra a conjunção entre as novas tecnologias no processamento de bens e serviços com a correta utilização da mão de obra:

- ü Gestão da qualidade total.
- ü Produção e sistemas de distribuição JIT.
- ü Competição baseada no tempo.
- ü Produção enxuta – empresa enxuta.
- ü Criação de organizações focalizadas no cliente.
- ü Gestão de custos baseado em atividades.
- ü *Empowerment*<sup>5</sup> dos funcionários.
- ü Reengenharia.

DiSério e Duarte (2000, p.4) mostram na figura 01 como se deu a evolução das necessidades relacionadas ao mercado. Segundo os autores “estas transformações são na verdade uma evolução natural no sentido de se adaptarem às mudanças de um mercado cada vez mais competitivo e exigente.” (DISÉRIO E DUARTE, 2000, p.3).

---

<sup>5</sup> Nota do autor: Expressão inglesa que significa algo como “potencialização” interna do indivíduo.

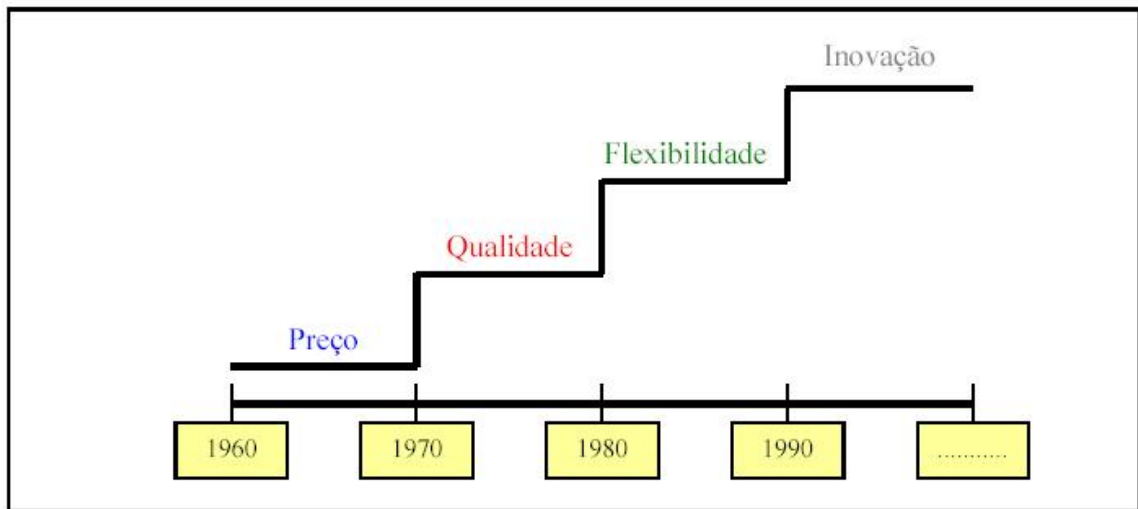


Figura 01: Evolução das necessidades relacionadas com o mercado. Fonte DiSério e Duarte (2000, p.4).

### 1.2.3 O Sistema de Produção Enxuta como Modelo de Gestão

Marcado fortemente pela cultura japonesa, o Sistema de Produção Enxuta (também conhecido como *lean production* ou *lean manufacturing*) vem sendo utilizado cada vez mais em ambientes de manufatura. A conotação comercial de implantação é bastante intensa, sendo que são várias as empresas que se especializaram na introdução do SPE como modelo de gestão e vendem serviços de consultorias, literaturas técnicas e treinamentos.

A proposta soa muito bem aos ouvidos de qualquer empresário: a elevação dos lucros operacionais baseados na redução ou eliminação de todo o tipo de desperdício, inclusive aqueles relacionados à movimentação durante a operação. Qual-

quer movimento que não agregue valor é considerado perda. Se voltarmos ao período conhecido como Fordismo, encontramos uma similaridade importante: ambos os conceitos buscam o máximo rendimento através do controle do movimento do corpo humano. Importante salientar que esta similaridade ocorre somente nos momentos iniciais, uma vez que o Sistema de Produção Enxuta tem características gerais mais amplas. Por exemplo: é clara a preocupação com a necessidade de se ter controle sobre toda a cadeia produtiva, visto a real possibilidade de horizontalização<sup>6</sup> (a premissa é de que esta cadeia não é local e muitas vezes se afasta do núcleo de operações), a valorização do ser humano e a compreensão da necessidade da customização em detrimento das necessidades do cliente.

O Fordismo se caracterizava pela extrema verticalização das operações. Outro aspecto importante é a visão holística empregada pelo SPE, permitindo uma análise orgânica dos elementos formadores do sistema organizacional. Podemos considerar que o Sistema de Produção Enxuta reúne condições desejáveis para o proletariado e para os empresários: “onde antes havia o confronto entre capital e trabalho, hoje desponta a administração participativa, a necessidade de envolvimento da mão de obra na implantação de novas técnicas produtivas.” (TUBINO, 2000, pg 16). Isso só ocorre quando for realizada a elevada produção, antes almejada pela extrema mecanização, em sintonia com a inesgotável capacidade de criação do ser humano.

Veremos a seguir que o Sistema de Produção Enxuta visa transferir para a máquina a condição da repetibilidade das tarefas, imputando ao homem a responsabilidade de criação de soluções para a resolução de problemas. Para Bamber e Dale

---

<sup>6</sup> Para Martins e Halt (2000) *apud* Kuehne (2001) “Verticalização é a estratégia que prevê que a empresa produzirá internamente tudo o que puder” e “horizontalização consiste na estratégia de comprar de terceiros o máximo possível dos itens que compõem o produto final ou os serviços de que necessita”.

(2002, p. 292) um dos princípios do sistema de produção enxuta é de que “seus métodos podem ser adaptados para cada tipo de aplicação específica”, ou seja, não somente voltado à indústria automobilística, mas a todo tipo de organização dedicada ao fornecimento de bens e serviços.

As bases do sistema de produção enxuta foram concebidas em situações particulares, durante um período de crise no Japão. A sua concepção foi moldada por condições extremas, onde o nacionalismo de uma nação inteira estava inflamado pela derrota na Segunda Grande Guerra. Muitas características próprias da cultura japonesa estão inseridas no contexto original de um Sistema de Produção Enxuta, sendo que a sua aplicabilidade para outras culturas merece a re-significação de alguns elementos. A utilização desta filosofia de gerenciamento sem a devida avaliação do meio a ser utilizado, pode criar um sistema essencialmente mecânico e pouco flexível. A aplicação do conceito *lean* exige uma análise científica sobre cada caso. Green (1999, p.134) atesta esta afirmação. Para ele a confiança na implantação de sistema enxutos está baseada numa amostra extremamente seletiva na literatura disponível. O autor prossegue afirmando que “enquanto que o modelo apresentado por Womack é conceitualmente coerente, a reclamação para uma aplicação universal, além da japonesa, é fortemente debatida.” Womack, como veremos a seguir, foi o responsável pela popularização do conceito *lean* no ocidente.



### 1.3 Pergunta da Pesquisa

Como avaliar as condições de adaptabilidade de um sistema de produção, visando uma aplicação universal do conjunto de conceitos e ferramentas necessários à implantação de um Sistema de Produção Enxuta? Sistemas de produção carecem de uma orientação científica no intuito de priorizar ações visando uma implementação eficaz. É preciso compreender as dimensões e os impactos das principais ferramentas de implantação no intuito de se antecipar a possíveis ações incompletas ou impactantes.

### 1.4 Objetivos do Trabalho

Este trabalho envolve a aplicação de metodologias para a avaliação do grau de complexidade de sistemas de produção frente a ferramentas necessárias a implantação de um sistema enxuto de produção. Objetiva-se orientar a implantação do sistema de modo a aumentar a eficácia de sua utilização e facilitar a sua adaptabilidade à cultura ocidental.

#### 1.4.1 Objetivo Geral

A proposta da redução gradativa do desperdício em detrimento do aumento da margem de contribuição dos produtos na questão do lucro é uma proposta clara nos sistemas de produção considerados enxutos (*lean production*). A idéia é de se fazer mais com cada vez menos, manter um *portfólio* de produtos o mais abrangente possível e apostar na constante inovação mantendo as empresas vivas e úteis ao atendimento das necessidades e desejos dos *stakeholders*.<sup>7</sup>

Originalmente proposto por empresas Japonesas, o Sistema Enxuto de Produção propõe colocar a figura do homem em uma posição de destaque, onde toda sua potencialidade é convertida em melhoria contínua para o sistema e, em conjunto com os demais recursos, sempre focalizar o ganho. Por outro lado este sistema está contido em um todo maior, regido não por leis determinísticas, mas sim por um emaranhado de inter-relações conhecido como Sistema Complexo.

O objetivo geral deste trabalho de pesquisa é propor uma metodologia de aplicação de um Sistema Enxuto de Produção delineado com os conceitos da Teoria da Complexidade. Propõe-se então uma metodologia de diagnóstico do sistema de produção capaz de propiciar a redução, controle e entendimento da complexidade, visando a sua implantação e manutenção.

---

<sup>7</sup> É o público interessado pelo sucesso do empreendimento, projeto, organização. Fonte PMBOOK (2000).

#### 1.4.2 Objetivos Específicos

- ü Apresentar um modelo para o entendimento de um sistema complexo através da separação de suas características em graus onde se possam avaliar a abrangência e a distribuição destas variáveis complexas.
- ü Avaliar os impactos das ferramentas e métodos de implantação de Sistemas Enxutos de Produção frente às três características de um sistema complexo (variedade, imprevisibilidade e incerteza).
- ü Avaliar o método proposto em uma Empresa de manufatura no intuito da validação da metodologia proposta.

#### 1.5 Justificativa

A adoção da metodologia de produção enxuta normalmente está vinculada ao uso de ferramentas e técnicas pré-concebidas, as quais propõem modelos de implantação baseados em regras seqüenciais, *check list* e exemplos práticos. A forma original é baseada na cultura japonesa, onde a disciplina e dedicação pelo trabalho chegam a tomar dimensões próprias de uma religião. A necessidade de se realizar uma abordagem mais científica, organicista e próxima da realidade ocidental justifica o esforço despendido na execução deste trabalho. Semler (1988) ironiza esta tentativa de migração afirmando que “a moderna empresa japonesa, para padrões orientais, é tão

moderna quanto os *xoguns*. Isto porque baseiam-se numa cultura milenar de paternalismo, civismo nacionalista e obediência cega à hierarquia, coisas completamente incompatíveis com o ocidente.” (SEMLER, 1988, p. 59).

A relação entre a Complexidade e Sistemas de Produção Enxuta não tem sido muito abordada no mundo científico, visto a escassez de trabalhos realizados nesta área. A Teoria da Complexidade é um tema relativamente novo, assim como o uso do Sistema Enxuto de Produção em empresas fora do eixo responsável pela montagem de automóveis. Vale a pena lembrar que o termo SPE tem forte ligação com a fabricante de automóveis japonesa Toyota, berço da criação do sistema.

Bertelsen (2002) faz uma aproximação entre *Lean Construction* (uma variação do sistema *lean* utilizado na construção civil) e sistemas complexos. O autor cruza as abordagens construídas por Koskela (1992) e Ballard *et al* (1993). Koskela (1992) compara a construção com uma linha de produção, sendo que a diferença é que o produto final é único. Os conceitos do Sistema Toyota de Produção são adaptados a esta realidade. Ballard *et al* (1993) propõem o uso do sistema *Last Planner*, que funciona como um verificador das tarefas planejadas durante um curto período de tempo. Ambas as abordagens são relacionadas a sistemas complexos, principalmente quando determinadas tarefas previamente planejadas (o autor enfatiza que o projeto em construções civis é uma etapa que não pode ser evitada, sendo que em outras atividades de produção elas podem ser realizadas paralelamente à execução), são realizadas de forma diferente ao que foi projetado. A necessidade da auto-organização, uma das características de sistemas complexos, ocorre de forma constante na construção civil. O autor cita que muitas vezes, no canteiro de obras, os operários tomam decisões sobre a execução do projeto sem que ocorra a intervenção do engenheiro responsável. Geral-

mente são decisões de pequeno impacto inicial, mas que se não forem tomadas, levam à interrupção da obra.

Uma aproximação interessante entre complexidade e produção, bem como uma revisão da evolução deste tipo de sistema é apresentada por McCarthy, Rakotobe-Joel e Frizzele (2000). Para os autores as organizações de manufatura têm na teoria dos sistemas complexos uma forte aliada para o fornecimento de uma perspectiva alternativa, voltada à modelagem e conceitualização de sua dinâmica interna. Geralmente a teoria dos sistemas complexos está associada com o estudo de sistemas auto-reguladores em disciplinas tais como biologia, física e química. Desta forma, a melhor aproximação entre sistemas de manufatura e sistemas complexos, ocorre adotando os conceitos de Sistemas Adaptativos Complexos. McCarthy, Rakotobe-Joel e Frizzele (2000) consideram que a evolução dos sistemas de produção está baseada nesta característica (a da auto-organização): iniciando pela revolução industrial, seguida pela revolução da qualidade, o movimento enxuto, apontando agora a era da agilidade.

Scott, Johnson e Frizelle (2002) fazem uma avaliação mais aprofundada sobre a Complexidade e o Sistema de Produção Enxuta. Para estes autores existem duas formas gerais de atacar os problemas associados a sistemas complexos. O primeiro é simplificá-lo, o segundo é controlá-lo. Um sistema de produção enxuta representa um padrão no qual se espera a remoção e desperdícios e a simplificação. Segundo os autores, um SPE tenderá reduzir a incidência e os efeitos dos comportamentos caóticos e catastróficos, mas não irá eliminá-los. A compreensão da natureza da complexidade também tem uma regra a ser observada, ela pode fornecer uma explicação sobre o fenômeno que nós estamos tentando remover, reduzir ou simplificar.

A experiência profissional do autor deste trabalho de dissertação também justifica o interesse pelo tema. A convivência diária dentro de uma empresa de manufatura do ramo metal mecânico estimula o estudo de novas formas de gerenciamento da produção e transforma-se em um desejo pessoal.

As formas de gerenciamento utilizadas pelos empresários nacionais ainda sofrem muita influência do Taylorismo e do Fordismo. A abordagem cartesiana, reforçada durante as décadas de 80 e 90 com o advento de programas de qualidade os quais se baseiam em grande parte em relações tipo causa-efeito, aponta para a necessidade de uma abordagem atualizada sobre o tema.

## 1.6 Metodologia do Trabalho

A proposta é encontrar a metodologia adequada para verificar a aplicação dos conceitos da Teoria da Complexidade para auxiliar na solução do problema apresentado. Esta metodologia deve ser tal que os conceitos da Teoria da Complexidade sejam utilizados para se obter um entendimento mais profundo do funcionamento de um sistema operacional de produção; o qual terá como base de gestão o Sistema de Produção Enxuta.

### 1.6.1 Definição das Metodologias Utilizadas

Segundo propõe Gil (1991, p. 45) as pesquisas científicas ocorrem em função de seus objetivos gerais e são classificadas como sendo: pesquisas exploratórias, descritivas e explicativas. Ainda segundo o autor as pesquisas exploratórias têm como objetivo principal “proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito ou a construir hipóteses.” Desta forma, o autor determina que este tipo de pesquisa tem como objetivo “o aprimoramento de idéias ou descoberta de intuições.” Segundo Yin (2001, pg. 25) as pesquisas exploratórias levam a questões do tipo “o quê” e “quando”, sendo apropriada para o “desenvolvimento de hipóteses e a proposições pertinentes a inquirições (investigações) adicionais.”

Pesquisas descritivas, ainda segundo Gil (1991, pg. 46), “têm como objetivo primordial uma descrição das características de determinada população ou fenômeno ou, então, o estabelecimento de relações entre variáveis.” Segundo Churchill *apud* Vieira (2002, pg. 65) o principal objetivo de uma pesquisa descritiva é conhecer e interpretar a realidade sem interferir ou modificá-la. “Pode-se dizer que ela está interessada em descobrir e observar fenômenos, procurando descrevê-los, classificá-los e interpretá-los. Além disso, ela pode se interessar pelas relações entre variáveis e, desta forma, aproximar-se das pesquisas experimentais.” (VIEIRA, 2002, pg. 65).

Pesquisas explicativas “têm como preocupação central identificar os fatores que determinam ou que contribuem para a ocorrência dos fenômenos. Este é o tipo de pesquisa que mais aprofunda o conhecimento da realidade porque explica a razão, o porquê das coisas.” (GIL, 1991, pg. 47). Para Yin (2001, pg. 25) as questões

“como” e “porque” encontram neste tipo de pesquisa a estratégia correta. Segundo o autor “isso se deve ao fato de que tais questões lidam com ligações operacionais que necessitam ser traçadas ao longo do tempo, em vez de serem encaradas como meras repetições ou incidências.”

O uso das questões “como” e “porque” podem ser aplicadas à pergunta da pesquisa, firmando assim as condições propostas por Yin (2001). Desta forma podemos questionar: por que as ações pré-determinadas pela filosofia de produção enxuta devem ser entendidas para a abrangência de análise de sistemas complexos? Como as ações são verificadas em um ambiente após as técnicas serem aplicadas? Estas questões fazem parte da resolução do problema exposto. Usaremos, portanto, uma pesquisa explicativa para a resolução do problema apresentado.

Da mesma forma, a pesquisa busca a identificação de fatores que contribuem para a ocorrência de situações complexas, embora não percebidas em um primeiro momento pelo observador ou pelo elemento responsável pelas ações necessárias à implantação de técnicas associadas à filosofia de produção enxuta. A forma encontrada para a percepção do sistema e a sua avaliação em relação à métrica pertencentes à Teoria da Complexidade baseia-se na Sistemografia. O tópico seguinte versa sobre esta metodologia de análise.



### 1.6.2 Sistemografia

Segundo Ribeiro (2001) LeMoigne foi o primeiro a propor um método de estudo específico para sistemas complexos, denominado Sistemografia. No entanto ele não apresenta exemplos práticos de aplicação. Ribeiro (2001, p.4) então aponta para Bresciani (2001) para dar exemplos de sua praticidade, bem como recomendações para a sua construção. LeMoigne (1990, p.28) define a sistemografia como sendo a “representação dos modelos de fenômenos complexos.” A aplicação prática dos conceitos de sistemografia já é percebida no mundo acadêmico, sendo utilizada nas seguintes áreas: Sistemas de Produção – Bresciani (1997) e Administração de Materiais em uma Indústria – Kintschner (1998) ambos *apud* Ribeiro (2001), reorganização de sistemas de matrículas em faculdade (Thimming, 2002) e em sistemas de telefonia móvel (Branco, 2000). Podemos então, definir a ação “sistemografar” como sendo “a construção de um modelo de um fenômeno percebido como complexo.” (BRESCIANI, 2001, p.4)

Leite (2000, pg 129) cita Le Moigne para afirmar que a sistemografia utiliza a correspondência entre a forma e a função do fenômeno a ser observado. Esta afirmação solicita que se estabeleçam os seguintes conceitos: o que é isomorfismo, homomorfismo e polimorfismo.

Segundo a autora “isomorfismo é a correspondência bijectiva, na qual para cada elemento do conjunto de chegada, corresponde um elemento de saída.” Homomorfismo é a “correspondência sobrejectiva, na qual para cada elemento do conjunto de chegada corresponde pelo menos um elemento do conjunto de saída, sem que o recíproco seja verdadeiro” e finalmente, “polimorfismo é a correspondência injectiva, na

qual para cada elemento do conjunto de saída corresponde pelo menos um elemento de chegada, sem que a relação recíproca seja verdadeira.” (LEITE, 2000, pg. 129). No primeiro caso a relação é simétrica, no segundo ela é assimétrica e no terceiro a relação é de “muitos para um”. Basicamente sistemografar consiste na criação de um modelo utilizado para a percepção e compreensão dos objetos, sendo que a sua aplicação se estende para várias modalidades – físico ou matemático, estático ou dinâmico, analítico ou numérico; ou ainda, representar um objeto através de um sistema geral. O método tem fortes características subjetivas, sendo que diferentes tipos de soluções ocorrem em função dos diferentes pontos de vista dos pesquisadores.

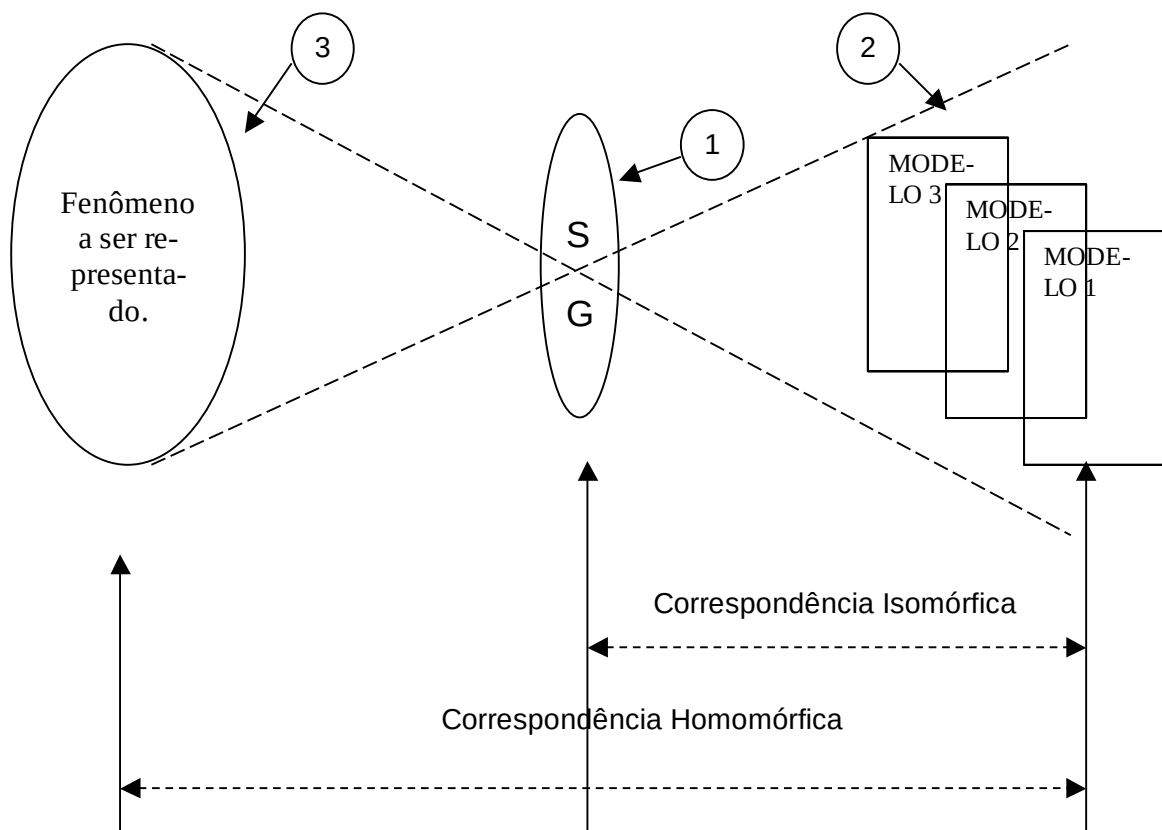


Figura 02: Representação esquemática da Sistemografia. Fonte: Adaptado de Le Moigne (1990, p.28).

A figura 02 acima mostra esquematicamente a sistemografia, onde podem ser observados seus elementos: (1) a determinação de um modelo de referência para observar a realidade (a “lente” do sistemógrafo), (2) a criação de um modelo do fenômeno por isomorfismo: cada elemento do modelo de referência corresponde a um elemento do fenômeno complexo e (3) fazer uma correspondência entre o modelo do fenômeno e o modelo real (homomorfismo) – o número de situações presentes do modelo “realidade” é sempre maior do que o número de modelos identificados. Para Leite (2002, pg. 130) a “homomorfia é mais difícil de perceber, sua avaliação completa é impossível, devido a racionalidade limitada do ser humano para compreender todo o contexto em que o sistema geral está inserido.” O mais importante de tudo isso é aceitar que a homomorfia possibilita a construção e o entendimento de diferentes sistemografias do mesmo objeto. O foco deste trabalho de pesquisa é propor modelos para melhor compreensão de sistemas de produção, gerenciados por um Sistema de Produção Enxuta, imerso em um ambiente complexo. O modelo proposto ajusta-se a essa tarefa, principalmente por possuir características contrárias à simplificação e à redução de suas propriedades funcionais.

### 1.6.3 Estratégias

A figura 03 mostra a estratégia a ser seguida para a resolução do problema, em termos de metodologia adotada.

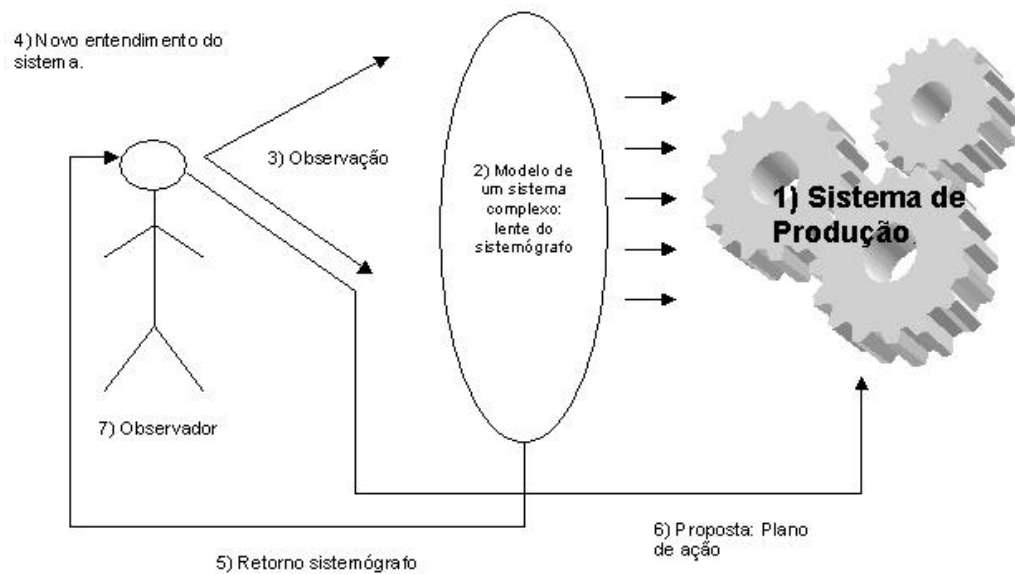


Figura 03 – Modelo de observação do problema. Fonte própria.

O sistema de avaliação é formado pelos seguintes componentes:

- 1) Sistema de Produção: é a realidade observada, destinada à transformação das necessidades dos clientes em produtos ou serviços.
- 2) Modelo de um sistema complexo: o filtro do sistemógrafo é baseado na avaliação da variedade, imprevisibilidade e da incerteza. Sua relação com o sistema de produção é isomórfica.
- 3) Observação: é o próprio ato em si. A palavra de ordem neste caso é a “máxima capacidade de percepção”, limitada pela “homomorfidade” do sistema.
- 4) Novo entendimento do sistema. Sua relação com o sistema de produção é homomórfica.
- 5) Retorno Sistemógrafo: informações que serão avaliadas pelas métricas.
- 6) Proposta: um plano de ação define as medidas a serem tomadas para “dominar” o sistema complexo.
- 7) Observador: é o próprio elemento humano, inserido no contexto.

## 1.7 Estrutura do Trabalho

Este trabalho de pesquisa objetiva o entendimento de um Sistema de Produção Enxuta como sendo um sistema complexo. O capítulo 01 exprime a necessidade do estudo em questão com vistas a uma interpretação científica do caso, bem como a explanação dos objetivos gerais e específicos. Concomitantemente apresenta o segmento em que a Empresa onde será aplicado o modelo está inserida. Busca-se desta forma a aplicação do modelo no intuito de validar a metodologia proposta. Neste momento se faz necessário o entendimento de algumas questões relacionadas a mudanças econômicas pelas quais o Brasil passou, alavancando também progressos nas áreas de tecnologia. O capítulo mostra também as fases pelas quais os sistemas produtivos e de serviços passaram durante os anos, sendo enfatizada a condição atual da era da informação.

Também é apresentada a metodologia a ser empregada na resolução do problema, onde a utilização da pesquisa explicativa é considerada como ideal para a sua resolução. Concomitantemente a ela, é apresentado também a sistemografia, metodologia auxiliar indicada para a interpretação de sistemas complexos. A consideração de que um Sistema de Produção Enxuta pode ser utilizado como modelo de aumento de eficiência através da melhor utilização do ser humano (e a sua inserção em um ambiente complexo) também é verificada. O capítulo encerra com a apresentação dos objetivos do trabalho, sua justificativa e a pergunta da pesquisa.

O capítulo 02 versa sobre a revisão bibliográfica necessária. Inicia com o estudo sobre Estruturas Organizacionais, principalmente aquelas caracterizadas como sendo mecanicistas e organicistas. Esta análise é importante pois existe uma certa facilidade em se implantar sistemas de produção enxuta em empresas mecanicistas (certas características que propiciam a utilização de técnicas mecanicistas, facilitam uma implantação: a variedade reduzida de produtos, a produção de *commodities*, a variedade reduzida de processos, de fornecedores e tipos de matéria prima, por exemplo).

O fato é que a maioria das empresas se caracterizam por serem orgânicas, por estarem inseridas em ambientes instáveis, provocada pela customização e pela globalização. Alguns exemplos de sistemas mecanicistas são apresentados por serem considerados por alguns autores como atualmente eficazes.

O capítulo faz menção à burocracia e sua necessidade de existir em estruturas organizacionais, em especial naquelas certificadas por sistemas da qualidade (neste caso específico a ISO 9001:2000). Também são avaliadas as variações de sistemas propostas por Mintzberg (1995) para auxiliar na caracterização do ambiente estudado.

A apresentação da Teoria da Complexidade é precedida por um breve histórico sobre a evolução dos sistemas, principalmente sobre a criação do paradigma cartesiano. No estudo da teoria da complexidade, é então apresentada a distinção entre o que é considerado como simples, complicado e complexo e também as definições de Stacey *apud* Paiva (2001) sobre o que são: resoluções contidas, abertas e fechadas. Estas definições são importantes para conceituar a palavra “complexidade”, e a sua extensão para o uso. Os elementos considerados como fundamentais para a percepção de um sistema complexo são também apresentados: a variedade, a imprevisibilidade e

a incerteza. Esta visão apresentada por Iarozinski (2005) irá servir de importante base para a verificação do grau de complexidade de sistemas de produção.

O Sistema de Produção Enxuta e seus componentes fundamentais são relatados na seqüência. O tópico é dividido em duas etapas: a primeira versa sobre o sistema de produção da Toyota, o maior expoente mundial em manufatura enxuta. O segundo fala sobre a Cadeia de Valor (ou mapeamento da Cadeia de Valor), considerada por autores como Womack (1998), Rother e Shook (2002), Liker (2005) como fundamentais para a implantação de um SPE. A questão do valor agregado é levada em consideração bem como sua relação com as Normas ISO 9001:2000. A percepção do valor agregado e a redução de desperdícios são as principais tônicas de um SPE. O fechamento do capítulo 02 ocorre após a análise de alguns requisitos da Norma ISO 9001:2000 considerada como sendo um sistema de gestão eficaz para que a estrutura organizacional seja mantida com o mínimo de burocracia necessária para a implantação de um SPE.

O capítulo 03 analisa os sistemas de gestão da produção a partir da abordagem da complexidade. Para que isso ocorra, é verificado o comportamento da complexidade em um sistema de gestão da produção, em uma célula de produção e no indivíduo. Nesta etapa cria-se um modelo de comparação (sistemógrafo<sup>8</sup>) para a percepção de um sistema complexo, baseado na variedade, imprevisibilidade e incerteza. No capítulo 04 é apresentado o método de avaliação do grau de complexidade em sistema de produção, baseado em adaptações da ferramenta FMEA e QFD. A idéia é a de avaliar o impacto da complexidade em sistemas de produção enxuta e a eficácia das ferramentas tradicionais relacionadas com sua implantação. No capítulo 05 é apresen-

---

<sup>8</sup> A definição de Sistemografia foi verificada no item 1.6.2 deste trabalho.

tada ao leitor uma situação real para a validação do modelo proposto. Estas considerações permitem então a conclusão deste trabalho.



## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo serão apresentadas as bases bibliográficas necessárias à resolução do problema apresentado.

### 2.1 Abordagens da Gestão da Complexidade nos Sistemas Produtivos

A bibliografia necessária ao estudo do problema apresentado abrange conceitos relativos às principais características de um Sistema de Produção Enxuta, a contribuição do Sistema Toyota de Produção, a necessidade de uma estrutura burocrática voltada para a agregação de valor e as relações destes tópicos com a teoria da complexidade.

A proposta de pesquisa não procura formas de redução para a complexidade e sim maneiras de mantê-la sob controle e prevenir possíveis condições indesejáveis. Inclui este capítulo conceitos sobre estrutura organizacional visto a sua importância no estudo do tema. A burocracia representa o arcabouço necessário à sustentação do projeto proposto, uma vez que uma pequena parcela de mecanização presente na estrutura organizacional é importante para preservar uma ordem inicial. A estrutura burocrática básica a ser adotada é aqui representada pelas Normas ISO 9001:2000.

## 2.2 Estrutura Organizacional

Assim como uma construção física, a necessidade de estruturar algo ocorre para abrigar algum interesse. Hall (1984, p.37) traça um paralelo entre a construção de edifícios, e o fim a que se destina, com a estrutura organizacional das empresas: no primeiro caso é óbvia a relação com segurança, preservação, organização e continuidade. Hall (1984, p.33) considera como elemento integrante da estrutura organizacional a divisão do trabalho, uma vez que as pessoas têm diferentes tarefas; e também a questão da hierarquia, uma vez que as posições das pessoas e o seu comportamento nestas posições são monitorados por normas e procedimentos. Ranson, Hinings e Greenwood (1980, p.3) definem Estrutura Organizacional como sendo “um meio complexo de controle que é continuamente produzido e recriado em interações e que, ainda assim, modela essa interação: as estruturas são constituídas e constitutivas”. Sua estrutura compõe as interações que ocorrem dentro dela, a estrutura não produz uma conformidade total, mas impede também o comportamento do acaso.

Hall (1984, p.38) afirma que a Estrutura Organizacional atende a três funções básicas. A primeira está ligada a realizar produtos organizacionais e atingir metas organizacionais. A segunda é que as estruturas organizacionais se destinam a minimizar ou pelo menos regulamentar a influência das variações individuais sobre a organização, “impõem-se estruturas para assegurar que os indivíduos se conformem às exigências das organizações e não o inverso.” (HALL, 1984, p.38). A terceira diz que as estruturas são os contextos em que o poder é exercido, onde as decisões são tomadas e onde são executadas as atividades das organizações.

A segunda afirmação de Hall (1984) encontra sustentação no que Ashby *apud* Iarozinski chama de Lei da Variedade Requerida: “um sistema de variedade (V) não pode ser completamente controlado por outro sistema se a variedade deste último não for pelo menos igual a (V).” E ainda, “a variedade do resultado do controle não pode ser mais baixa do que a diferença entre a variedade do sistema a controlar e a do sistema de controle.” (IAROZINSKI, 2005, p.3). Retornaremos a este assunto quando tratarmos especificamente da complexidade.

O trabalho original sobre a estrutura organizacional é a descrição de Weber sobre o tipo ideal de burocracia. Weber *apud* Hall (1984) enumera conceitos rígidos para que a burocracia seja legitimada, e que este atendimento conduz à conformidade da situação. Para Weber, uma verdadeira situação de controle de uma organização deve apresentar hierarquia de autoridades, limitação de autoridade de cada cargo, divisão de trabalho, membros tecnicamente competentes, procedimentos para o trabalho, normas para os encarregados, e recompensas diferenciadas. Segundo Prestes (1981, p. 224) Weber “preocupa-se com a forma pela qual uma comunidade social, aparentemente amorfa, chega a se transformar em uma sociedade dotada de racionalidade.” O autor apresenta a burocracia como algo que pode ser destinado ao que ele chama de “dominação mediante a uma constelação de interesses” ou como “dominação em função do poder de mando e subordinação.” Wood *apud* Simões (2003, p.4) considera que “na sua concepção original, a burocracia deveria servir para introduzir a racionalidade à organização do trabalho, um objetivo louvável e ainda válido.”

Weber traça normas rígidas para manter o controle de uma estrutura organizacional. Na verdade, ele sintetiza princípios já ocorridos e conhecidos tidos como modelos funcionais. As bases desta formulação atendem a requisitos oriundos de

estruturas militares e religiosas, onde a burocracia é a base para a manutenção da organização. Morgan (1998, p. 24) coloca que “essa instrumentalidade é evidente nas práticas das primeiras organizações formais das quais se tem notícia, tais como aquelas que construíam grandes pirâmides, igrejas, impérios e armadas.” O modelo sintetizado por Weber, apesar de ser motivo de críticas e interpretações errôneas (o uso da palavra burocracia é por vezes associado a atitudes antiproducentes), é fundamental para a manutenção das organizações.

Hall (1984) aponta para Burns e Stalker (1961) para demonstrar a quebra deste paradigma de organização estabelecido por Weber, o qual garante a organização formal da estrutura. Para Hall (1984) estes autores “identificaram a forma mecanicista que é muito próxima do tipo ideal de burocracia de Weber, e a forma orgânica que é quase o seu oposto.” (HALL, 1984, p.39). Os autores consideram que a condução das estruturas realizada por seres de vontade própria interage com a estrutura formalizada de forma complexa. Para Morgan *apud* Bezerra e Coelho (2004, p.1) as estruturas organizacionais podem ser classificadas de quatro formas diferentes, sendo que cada uma atende a um tipo específico de organização. Para o autor as organizações podem ser: mecanicistas, sistêmicas, orgânicas e cerebrais.

### 2.2.1 A Estrutura Mecanicista

Segundo Morgan (1998, p.24) “as organizações planejadas e operadas como se fossem máquinas são comumente chamadas de burocracia.” Este conceito

ocorre porque se espera de uma organização uma operação rotinizada, eficiente, confiável e previsível. A palavra “ordem” remete a atenção para algo padronizado em que todas as ações ocorrem após consultarmos regras ou procedimentos, onde existe uma tendência à ação comum de todos os envolvidos. Após o advento da revolução industrial na Europa e nos Estados Unidos, a caracterização de ações mecanicistas no trabalho tornou-se mais expressiva. A máquina chega para realizar o mesmo trabalho então feito pelos artesãos de forma mais rápida, precisa e barata. O papel do trabalhador era limitado a ações simples e com pouquíssima ou nenhuma responsabilidade sobre a tomada de decisão. Esta tarefa era direcionada, quando necessária, aos supervisores. A máquina era vista como um ser supremo que necessitava tão somente de algum impulso simples para iniciar seu funcionamento. É evidente a desvalorização do potencial humano, o qual era tido como eficiente onde ocorresse a combinação de força e habilidade. Diante deste fato, afirma Morgan (1998, p.25) que “novos procedimentos e técnicas foram também introduzidos para disciplinar os trabalhadores para aceitarem a nova e rigorosa rotina de produção da fábrica.” Esta emergência vinha de encontro com o conceito de burocracia sintetizado por Weber. Gomes (2002, p. 43) cita Wood Jr. (1992) para realçar a necessidade de controle para a adoção de técnicas mecanicistas. Segundo a autora “é preciso organizar tudo de forma racional, clara e eficiente, detalhar todas as tarefas e principalmente controlar.” A autora completa afirmando que “tal enfoque subvaloriza os aspectos humanos da organização, além da pouca percepção de que as tarefas enfrentadas pelas organizações são freqüentemente mais complexas, imprevisíveis e difíceis do que aquelas executadas por máquinas.”

A organização mecanicista teve um grande colaborador quando se fez necessária à avaliação das diversas partes que compõe a Estrutura Organizacional: o

engenheiro americano Frederick Taylor foi o primeiro a desenvolver o que foi conhecido como administração científica (Taylor, 1990). Para ele, qualquer processo deve ser dividido em partes que devidamente interligadas levam à realização de um serviço ou produto. A necessidade de se colocar pessoas em interação com máquinas exige, segundo o autor, um dedicação diferenciada. Todos os movimentos necessários podem ser estudados a fim de se ter um melhor aproveitamento do tempo utilizado. Ford utilizou os princípios mecanicistas e teve um relativo sucesso quando a variedade ainda não era exigência.

#### 2.2.1.1 O Sistema Mecanicista na atualidade

Apesar de ser baseado em fundamentações originárias no século XV, o sistema mecanicista ainda é utilizado em organizações atuais. A forma padronizada da sua condução confere a esta técnica vantagens em relação ao controle necessário para a estabilidade do sistema. Segundo Morgan (1998, p.43) os enfoques mecanicistas da organização funcionam bem somente sob condições nas quais as máquinas operam bem, ou seja:

1. Quando existe uma tarefa contínua a ser desempenhada.
2. Quando o ambiente é suficientemente estável para assegurar que os produtos oferecidos sejam os apropriados.
3. Quando se quer produzir sempre exatamente o mesmo produto (ou uma pequena gama com poucas alterações).

4. Quando a precisão é a meta.
5. Quando as partes humanas da “máquina” são submissas e comportam-se como foi planejado que façam.

Entre estas organizações podemos citar a rede de alimentação McDonalds, que criou um modelo baseado no mecanicismo e consegue reproduzir o mesmo padrão de atendimento e qualidade em várias regiões do mundo. Segundo Morgan (1998, p.37) “a empresa constitui um exemplo quanto à adoção dos princípios *tayloristas* e recruta uma mão de obra não sindicalizada, geralmente constituída de estudantes ginasiais e de nível médio que se sentirão felizes em servir à organização conforme o planejado.” Outros exemplos de empresas que se adaptam bem ao modelo mecanicista são departamentos de manutenção de aeronaves, centros cirúrgicos, escritórios de contabilidade, empresas de correio e outras organizações nas quais precisão e segurança são fatores preponderantes. Estas empresas implementam “certas características” mecanicistas em aspectos específicos das suas operações, principalmente aquelas em que os procedimentos devem ser seguidos à risca. As empresas tipicamente mecanicistas funcionam bem em ambientes não turbulentos e pouco competitivos. A necessidade de reagir a mudanças, ou até mesmo antecipar-se a elas, confina o modelo mecanicista a algumas poucas aplicações.

### 2.2.2 O Sistema Organicista

O mecanicismo busca a departamentalização da organização. Cada função é exercida de maneira independente e depois de processada é entregue à próxima etapa. O sistema é entendido como fechado, sendo que sua interação com o sistema externo é pouco desejável. A visão orgânica considera a organização como dependente de outros ambientes, funcionando como um sistema aberto. Este novo enfoque fez com que os teóricos organizacionais abandonassem modelos mecânicos e passassem a adotar sistemas biológicos para realizarem suas pesquisas e comparações. A questão do entendimento do todo tem um forte apoio nesta tendência.

Morin (2000, p.13) aborda de maneira muito clara o problema da departamentalização quando a questão é o conhecimento “de fato, a hiperespecialização impede de ver o global (que ela fragmenta em parcelas) bem como o essencial (que ela dilui).” No caso do conhecimento, o retalhamento das informações torna impossível aprender “o que é tecido junto” isto é, o que é complexo. De certa forma, um sistema mecanicista tenta se proteger de algumas características de sistemas complexos, como por exemplo, a variedade.

Segundo Morgan (2000) existe uma relação inseparável entre o todo, uma interdependência, interação, inter-retração. A expansão descontrolada do saber leva ao crescimento ininterrupto dos conhecimentos e constrói uma imensa Torre de Babel. O não entendimento do todo leva ao isolamento, a seccionalização. Se toda a empresa compreende o objetivo, é mais fácil atingir as metas. O sentido orgânico recoloca o homem na sua posição original, como sendo um elemento complexo, imprevisí-



vel e repleto de necessidades que variam dia após dia. O elemento humano acoplado à máquina torna-se agora o ponto principal na estrutura organizacional.

As preocupações com o indivíduo e o reflexo de suas necessidades tiveram início nos anos 20 e 30, sob a liderança de Elton Mayo na fábrica de Hawthorne da Western Electric Company em Chicago, conforme afirma Kerlin *apud* Daniel e Yussof (2005, p.2). O intuito inicial era determinar relações entre as condições de trabalho e a incidência de fadiga e monotonia entre os empregados. Num caso típico de serendipidade, Mayo constatou que mais importante do que as condições do ambiente são as necessidades sociais no local de trabalho, que influenciam a produtividade. Mayo identifica a “organização informal”, baseada em relações de amizade e interações não planejadas, as quais ocorrem lado a lado das organizações formais, devidamente planejadas e controladas. Os estudos de Mayo determinaram que as atividades relacionadas ao trabalho são tanto influenciadas pela natureza do ser humano quanto pelos procedimentos e regras. Segundo Andrie (1994, p.2) Mayo enfatizava que “os empregados deveriam primeiro ser entendidos como pessoas para então serem entendidos como membros da organização.”

Os trabalhos voltados ao entendimento de organizações como organismo recebem um importante apoio quando Abraham Maslow apresenta o ser humano como detentor natural de uma série de necessidades. Conhecida popularmente como a pirâmide das necessidades ou pirâmide de Maslow, esta representação geométrica hierarquiza as necessidades do homem em cinco etapas distintas: necessidades fisiológicas, de segurança, sociais, de auto-estima e de auto-realização (Maslow, 2000).

## 2.3 Variações entre Sistemas

Mintzberg (1985, p.154) identifica cinco tipos de configurações ou organizações: a máquina burocrática, a forma departamentalizada, a burocracia profissional, a estrutura simples e organizações denominadas de *adhocracias*. Segundo Mintzberg a Máquina Burocrática e a Forma Departamentalizada tendem a ser ineficazes para ambientes turbulentos, mas podem ter sucesso se devidamente adaptadas a ambientes simples e estáveis. A Burocracia Profissional permite maior autonomia ao pessoal, sendo que é indicada em organizações hierarquicamente verticalizadas que operam em ambientes relativamente estáveis e que as tarefas associadas sejam relativamente complicadas. Por exemplo, se aplicam a universidades e hospitais, onde as partes integrantes precisam de bastante autonomia de liberdade de escolha.

A Estrutura Simples e a Adhocracia são próprias para ambientes instáveis. A primeira tem na figura do presidente o principal detentor do poder. Ele geralmente é assessorado por um grupo de pessoas que, por sua vez, mantém o controle do grupo operacional. A organização é informal e tende a responder rapidamente a qualquer alteração do ambiente. Grande parte das empresas familiares tem esta característica. As Adhocracias se aproximam muito do que atualmente se chama de “organização matricial”. Quando em situações turbulentas, os assuntos são imediatamente tratados por equipes que se reúnem de acordo com a necessidade dos casos, vindo a se dissolver após isso. Literalmente, a adhocracia reúne pessoas preparadas para determinada missão.

## 2.4 A Criação do Paradigma Cartesiano

Uma questão que vem sendo historicamente perseguida pelo homem é o entendimento de todas as relações existentes em um sistema qualquer, seus eventos relacionados e a tentativa da previsibilidade deste evento no futuro. Desta forma, poderíamos melhor controlá-lo e logicamente influenciá-lo. Uhlmann (2002, p.4) afirma que “em todo esse percurso de quase 5000 anos é possível identificar-se o mesmo propósito perseguido, resumindo os objetivos da teoria dos sistemas: O esforço humano para prever o futuro.” Ainda segundo o mesmo autor, esta previsão do futuro inicia-se com uma fase mística, passa pelo determinismo e atualmente está ancorada em um entendimento probabilista.

Os diversos eventos encontrados nos sistemas que compõe a nossa sociedade como um todo (natureza, sociedade humana, organização, etc...) são representados por paradigmas. Kuhn (1998, p. 218) afirma que o termo pode ser utilizado de duas formas diferentes: “de um lado, indica toda a constelação de crenças, valores, técnicas, etc., partilhadas pelos membros de uma comunidade determinada. De outro lado, denota um tipo de elemento desta constelação.” O outro lado apontado por Kuhn (1998) indica soluções concretas empregadas mais tarde como modelos e exemplos que podem substituir regras explícitas existentes.

Desta forma, paradigmas fornecem modelos, padrões e exemplos aceitos por uma determinada sociedade para a descrição, explicação e compreensão de uma realidade qualquer. O termo “durante certo período de tempo” indica que os paradigmas são constantemente abalados pela revolução científica, que sempre ocorre na

tentativa de superar um paradigma em voga. A contínua comprovação de um paradigma válido frente ao comportamento da natureza é um dos responsáveis pela evolução da ciência. Segundo Bauer (1999, p.22) “uma revolução científica não ocorre, portanto, de processos lineares de acumulação, mas de um evento abrupto e não estruturado, algo como um *insight*, após o que o cientista se vê como que remetido a um *outro mundo*, distinto daquele regido pelo paradigma ultrapassado.” A natural resistência à mudança é benéfica para o processo como um todo, uma vez que a negação leva a uma série de comprovações desta nova realidade. A exaustão corresponde a inúmeras tentativas de falsear o novo paradigma.

As ações necessárias à gestão da produção, durante muito tempo, seguiram o paradigma do determinismo. O determinismo é também chamado de Paradigma Cartesiano-Newtoniano, ou paradigma reducionista. O entendimento deste paradigma e as bases que o cercam, justificam uma análise cronológica de diversos cientistas, iniciando com Nicolau Copérnico e indo até Isaac Newton. A evolução do pensamento determinístico nestes dois séculos cria uma base sólida, na qual a intenção maior é a de encontrar as leis que defina os comportamentos das sociedades e de suas principais características. Neste contexto podemos incluir todos os tipos de situações decorrentes da aglutinação de indivíduos no intuito de praticar um bem comum. A tabela 02 ilustra esta evolução.

| Nicolau Copérnico<br>(1473 – 1543)                                                                                                                                       | Galileu Galilei<br>(1564 – 1642)                                                                                                                                       | Francis Bacon<br>(1561 – 1626)                                                                                                                                         | Renè Descartes<br>(1596 –1650)                                                                                                                                                             | Isaac Newton<br>(1643 –1727)                                                                                                                                                                         |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Concepção heliocêntrica<br>Negativa da concepção geocêntrica de Ptolomeu.<br>Medo da reação da Igreja: sua descoberta retira a posição do homem como centro do universo. | Fundador da física moderna<br>Utiliza pela primeira vez raciocínio teórico, observação experimental e matemática.<br>"Ciência é o que pode ser medido e quantificado". | Cria o método empírico de investigação: o que é proposto deve ser experimentado na prática.<br>A finalidade da ciência é proporcionar ao homem poder sobre a natureza. | As leis do pensamento são regidas pela lei da matéria. Os efeitos decorrem necessariamente de causas. Concepção mecanicista da ciência: o organismo humano é uma máquina regida pela alma. | Fundador da Mecânica Clássica. Através da força dos movimentos procura demonstrar todos os fenômenos da natureza. Metáfora do universo - máquina, regida por leis matemáticas perfeitas e imutáveis. |

Tabela 02 – Evolução do pensamento reducionista. Adaptado de Bauer (1999, p.23).

Importante citar também a figura de Laplace (1749-1827) que segundo Gleiser aparece como um dos importantes vultos que também foi contagiado pela febre Newtoniana: “se pudermos imaginar uma consciência superior que saiba a exata velocidade e posição de todos os objetos do universo em um determinado instante, assim como as forças que neles atuam, é possível calcular o passado e o presente pelas leis da causa e efeito.” (GLEISER, 2002, p. 29).

Da mesma forma, Capra (1999) afirma que as equações da física determinista têm a singular capacidade de prever o futuro e determinar o que ocorreu no passado, sendo que para isso ocorrer se fazem necessários alguns dados de entrada. Por exemplo, podemos determinar em que ponto “x” determinado corpo estará quando estiver sobre a ação de uma velocidade “v”. É evidente neste contexto a necessidade do equilíbrio e do reduzido número de variáveis de entrada, sendo que qualquer situação inusitada compromete o modelo estudado.

A euforia que cercava o determinista baseava-se no seguinte questionamento: O que dizer de uma ciência que prevê a ocorrência de fenômenos tão intensos como a chegada de um cometa ou a ocorrência de um eclipse? Parecia que tudo poderia ser previamente determinado se as condições iniciais estivessem estabelecidas. O fato é que o paradigma cartesiano-newtoniano começou a ser questionado. No início do século XX descobertas no campo da física quântica abalaram os alicerces da mecânica newtoniana. Werner Heisenberg *apud* Capra (1999, p.41) um dos fundadores da teoria quântica afirma que “o mundo aparece assim como um complicado tecido de eventos, no qual conexões de diferentes tipos se alternam, se sobrepõem ou se combinam e, por meio disso, determinam a textura do todo.” Einstein percebe a importância da descoberta de Planck e resgata a idéia de um fenômeno unificado para a física. Após isso outros físicos como Bohr, Heisenberg, Pauli, Schrödinger, Broglie e Dirac, descobrem que as unidades subatômicas possuem uma natureza dual, pois ora se comportam como partícula, ora se comportam como ondas, conforme citado em Capra (1999).

Com seu princípio da incerteza, Heisenberg mostra matematicamente que é impossível saber com precisão qual a posição e a velocidade de partículas atômicas. “Se observarmos uma fatalmente estaremos perdendo informação sobre outra.” Desta forma é enaltecida a presença de um sujeito no processo de observação científica, que segundo Bauer (1999) trata-se de nossa singularidade subjetiva e nossos valores, os quais são fatores determinantes para a percepção da realidade. A partir disso, as fundamentações deterministas perdem sua soberania na análise de fenômenos físicos no campo subatômico. O impacto no sentido macro é evidente, uma vez que se postulava a aplicação de uma lei universal, não importando o tamanho do sistema no qual seria utilizado. Importante salientar o próprio uso da palavra “reducionismo” neste

contexto. Seguindo esta mesma linha, conforme afirma Capra (1999, p.35), a aplicação de conceitos mecanicistas na biologia também encontra um falseador importante: William Harvey aplicou conceitos mecanicistas na biologia para explicar fenômenos da corrente sanguínea e teve sucesso. Porém fisiologistas tentaram o mesmo para explicar funções somáticas como a digestão e o metabolismo, mas não lograram êxito. A situação mudou mais uma vez com Lavoisier, “o pai da química moderna”, ao demonstrar que a respiração é um processo de oxidação, comprovando a relevância dos processos químicos para o funcionamento dos organismos vivos.

A máxima expressão do uso de técnicas reducionistas na administração da produção aplica-se a Frederick Winslow Taylor, o qual segundo Bauer (1999) realiza a transposição “analogística” dos conceitos da ciência natural para a teoria das organizações. As leis do movimento de Newton são então complementadas com as recém descobertas leis da Termodinâmica, que fazem emergir o paradigma da máxima eficiência. A possibilidade de cálculo de eficiência em máquinas é imediatamente transferida para aqueles relacionados aos esforços humanos, a fim de se obter o máximo rendimento das pessoas: “*one best way, one best method*”. Para Taylor *apud* Freedman (1992, p.6) “a melhor administração é uma verdadeira ciência, que repousa sobre os fundamentos das leis, regras e princípios claramente definidos.”

## 2.5 Complexidade

A dinâmica imposta pela globalização, a facilidade de consultas a novos bens e serviços propiciados principalmente pela Internet e a maior transparência das informações proporcionam aos consumidores um vasto campo de escolha. A elevação do poder de escolha do cliente é consequência direta do que Hyde (2005, p.65) chama de “A Era da Fragmentação”. O que era um tipo de marketing direcionado a poucos meios de divulgação se tornou hoje um imenso arsenal de opções e novas tecnologias. O paradigma atrelado ao uso de produtos incrementa de forma exponencial a variedade de escolha. Novamente podemos fazer menção a Lei da Variedade Requerida postulada por Ashby (1999), agora levando em consideração o comportamento de um fornecedor frente às inúmeras opções apresentadas aos clientes. Estruturas regidas por sistemas mecânicos são extremamente lentas frente a mudanças, sendo desta forma praticamente impossível reagir na velocidade necessária. Uma estrutura mecanicista está intimamente atrelada a rigorosos controles, estruturas fixas e procedimentos.

Agostinho (2003, p.16) considera que o elevado número de relações internas e externas que este tipo de situação demanda, torna impraticável a avaliação de todas as combinações possíveis. A boa notícia é que sistemas com esta característica possuem a singela capacidade de se auto-organizarem, visto o elevado número de informações que os compõem. A auto-organização é uma das principais características de um Sistema Complexo, e condição intimamente ligada ao organicismo.

Outra importante característica de um sistema complexo é aquela que versa sobre as qualidades emergentes. Segundo Agostinho (2003, p.19) “estas quali-



dades não surgem de regras superiores, nas quais já estavam embutidos os resultados esperados.” A posição da autora é clara: sistemas mecânicos não têm condições de responder a este tipo de situação de forma rápida o suficiente, uma vez que se trata de algo novo, não contemplado pelos procedimentos em voga. A tentativa de se definir o que é complexidade é uma questão semântica: estaríamos tentando avaliar o sentido da própria evolução da palavra. Iarozinski (2005) nos apresenta a seguinte abordagem sobre o que é complexidade:

Complexidade é algo que nos escapa a compreensão, isso é, não pode ser entendida em sua totalidade. Assim, é impossível definir o que é complexo. Porém, sem buscar uma definição precisa, nós podemos associar um sistema percebido como complexo com algumas características. (IAROZINSKI, 2005, p.2).

O autor prefere falar em percepção. Um sistema complexo pode ser percebido, ao invés de ser definido. Esta percepção ocorre pelo fato de que de sistemas complexos emanam características especiais. Estas características especiais ocorrem conjuntamente, e são observadas sempre que alguém “olha” para um sistema complexo. O autor exprime as observações de autores como Atlan (1979), Rosnay (1995), Le Moigne (1990), Morin (1977) e Heylighen (1988) para encontrar os três elementos característicos dos sistemas complexos: a variedade, a incerteza, a imprevisibilidade. A figura 04 a seguir expressa esta idéia:

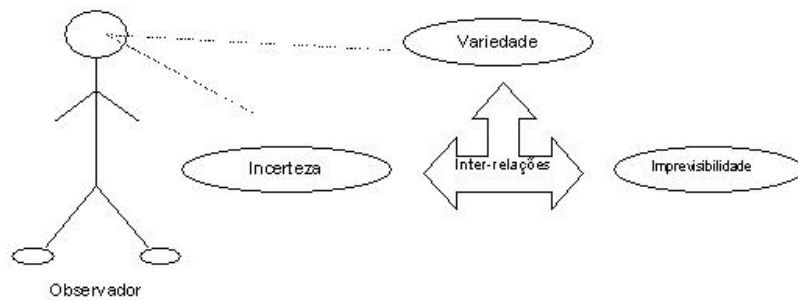


Figura 04 – A percepção da complexidade nos sistemas segundo Iarozinski (2005).

Para o autor o sistema é constituído por uma grande variedade de componentes ou elementos, os quais possuem comportamentos distintos e funções diferenciadas. Estes elementos estão em constante evolução e são continuamente influenciados por eventos, que não podem ser previstos com a certeza necessária à sua programação ou até mesmo, sua prevenção. Além disso, a informação sobre o estado atual destes elementos não pode ser conhecida na sua totalidade. Estes elementos estão todos inter-relacionados sendo que uma variação de estado de entrada provoca resultados imprevisíveis na saída.

Casti (2005, p.2) cita quatro características presentes em um sistema complexo. Estas características são as mesmas utilizadas por Scott, Johnson e Frizelle (2002) em um dos poucos trabalhos científicos que relacionam um sistema de Produção Enxuta com a complexidade. São as seguintes as caracterizações de Casti (2005): CATASTRÓFICO: pequenas mudanças nas condições iniciais provocam grandes alterações na saída. Mandelbrot<sup>9</sup> *apud* Gleick (1998) foi o primeiro a identificar este tipo de fenômeno em seu famoso computador McBee, ao estudar comportamentos meteoroló-

<sup>9</sup> Nota do autor: A experiência de Mandelbrot foi popularizada na mídia com o nome de “Efeito Borboleta”.

gicos. Giovaninni (2002) aborda por várias vezes em seu trabalho a influência da complexidade em Sistemas de Gestão da Qualidade utilizando desta vez o termo “dependência sensitiva às condições iniciais.” (GIOVANINNI, 2002, p.25). Bauer (1999) relaciona este fator a sistemas econômicos, mostrando que muitas vezes estas pequenas variações são tão influentes que chegam a causar situações de guerra, ações terroristas ou catástrofes naturais. Prigogine *apud* Bauer (1999, p.157) afirma que “as não linearidades são claramente abundantes nos fenômenos sociais, onde uns bocejos, um desejo por um automóvel rabo de peixe ou um estilo de vida, podem se alastrar contagiosamente por uma população.”

CAÓTICO: regras determinísticas não produzem resultados previsíveis. Os sistemas complexos não podem ser facilmente substituídos por modelos matemáticos onde a relação causa-efeito possa ser considerada regra geral. A ótica mecanicista aplicada à modelagem de sistemas organizacionais sofre fortes influências da física, onde as variáveis de resolução de um problema devem ser conhecidas e em pequeno número. Um sistema complexo pode ser considerado como sendo fruto de uma Equação Diferencial não linear com muitas variáveis, ou seja, de difícil resolução matemática.

IRREDUTÍVEL: sistemas complexos não podem ser reduzidos em partes sem que suas informações originais sejam mantidas. O grau de inter-relações em sistemas complexos está diretamente relacionado com a sua sobrevivência. Quando ocorre a tentativa da redução em função da simplificação, partes menores são retiradas, amputando desta forma conexões vitais para o funcionamento. A cada tentativa de redução, busca-se uma estrutura mais simples e se perde a interação com o meio externo.

EMERGENTE: as propriedades do sistema como um todo, são maiores do que a soma de suas partes. Imaginemos aqui, por exemplo, uma cadeia produtiva marcada pela inter-relação entre os seus vários membros. Existem funções específicas que ocorrem de forma isolada, mas existem também outras que dependem da integração entre as partes. Por esta integração podemos entender como a necessidade da partilha de conhecimento e técnicas operacionais, que são acionadas quando determinada operação apela para a integração entre as partes. Neste momento ocorre uma conjunção de métodos, estratégias e conhecimentos onde a sua realização está condicionada a um trabalho em equipe. A ruptura desta união descaracteriza este tipo de conhecimento, tornando uma tentativa de soma entre as partes isoladas, inferior ao conhecido da equipe como um todo. Esta relação entre as partes é uma demonstração da própria complexidade. Segundo Pippinger *apud* Scott, Johnson e Frizelle (2002, p.1) “a mais importante lição da teoria da complexidade é a demonstração da diversidade de fenômenos que podem erguer-se através da interação de componentes simples.”

## 2.6 Caos

As expressões “complexidade” e “caos” sempre ocorrem em conjunto quando se analisam sistemas dinâmicos. Para Gleiser (2002, p.55) “caos e complexidade são fenômenos interconectos porém distintos.” O autor prossegue afirmando que existe um certo debate em relação ao significado técnico e campo de influência dos dois fenômenos. Para Prigogine (2002, p.12) “o caos é sempre a consequência de fato-

res de instabilidade”, ou seja, a utilização da Teoria do Caos torna-se imprescindível para a análise de qualquer sistema onde o número de variáveis é elevado e de difícil identificação. As fórmulas usuais da física, para o autor, são ideais na análise de fenômenos simples (o exemplo clássico neste caso é o pêndulo na ausência de atrito), ficando a análise das ciências sociais na alçada da Teoria da Complexidade.

Dolan (2003, p.24) postula que a teoria do caos tenta entender as relações entre a desordem (o próprio caos) e a ordem dos sistemas. Nesta procura, é importante a atenção para entender o todo examinando-o de forma sistêmica, uma vez que a tentativa da explicação em partes, em oposição à análise global, produz soluções parciais. Para o autor, duas situações podem ocorrer:

1. Da Ordem para o Caos: o sistema passa de um período de estabilidade para ciclos oscilantes turbulentos e, daí, para o caos. A próxima etapa é a auto-organização.
2. De modo inverso, temos a análise do Caos para a Ordem onde a análise de um elemento conhecido como atrator estranho se faz necessária. Um atrator pode ser definido como um fenômeno que absorve ou atrai o sistema, tirando-o de sua ordem inicial.

Podemos considerar que o caos é uma situação própria de sistemas complexos, aonde a ordem do sistema é afetada por algum tipo de perturbação externa ou até mesmo interna. Os atratores são condições do sistema que tendem a levá-lo a um tipo de auto-organização, nem sempre desejada pelo observador externo. A introdução de técnicas de resolução de problemas, por exemplo, podem afastar o sistema de um tipo de atrator e levá-lo a outro tipo, onde as respostas apresentadas sejam con-

sideradas apropriadas para a situação apresentada. Esta linha de raciocínio será adotada na seqüência deste trabalho.

## 2.7 Tipos de Sistemas

Para Bertalanffy *apud* Bezerra e Coelho (2002) sistema pode ser definido como “um conjunto de partes interagentes e interdependentes que formam um todo unitário com determinado objetivo e efetuam determinada função.” Os autores prosseguem afirmando que “alguns sistemas, notadamente os sociais, possuem características que não podem ser enquadradas apenas no conceito sistêmico tradicional, visto sua não linearidade”. (BEZERRA e COELHO, 2002, p.47).

Weaver *apud* Iarozinski (2005) propôs uma classificação para os sistemas: sistemas simples, complexidade organizada e complexidade desorganizada. Para Morin (1977) *apud* Iarozinski (2005, p.5), os sistemas podem ser classificados em: sistemas simples, complicados e complexos. Sistemas simples podem ser facilmente entendidos na sua totalidade; complicados podem ser reduzidos até uma estrutura simples, sem o risco de se perder informações importantes a sua integridade. Já sistemas complexos “só podem ser compreendidos em sua globalidade. Não há como fazer simplificações para o seu entendimento. Qualquer tentativa de simplificação acarretará em perdas para a inteligibilidade do sistema.” (IAROZINSKI, 2005, p.5).

Stacey *apud* Paiva (2001) apresenta uma relação entre os fatos considerados como corriqueiros e aqueles que são considerados imprevisíveis. O autor relaciona estes fatos como sendo mudanças e os divide em:

- ü Mudanças com resolução fechada: segundo Paiva (2001, p.87) “as consequências de alguns eventos e ações presentes são inteiramente previsíveis por um período curto no futuro próximo, porque estamos repetindo, quase que exatamente, o que fizemos no passado.” Aqui se verifica a burocracia exigida pelo sistema de gestão da qualidade configurado conforme estipulado pela Norma ISO 9001:2000, onde a padronização de alguns procedimentos é exigida. Uma solicitação de um pedido por um cliente excita o sistema que, por sua vez, busca em seus procedimentos as ações necessárias ao cumprimento. O sistema de gestão da qualidade possui documentos onde os pedidos reincidentes encontram os meios padronizados para a transformação, tais como: relação de fornecedores aprovados, procedimentos de setup de máquinas, treinamentos do pessoal, desenhos, projetos, processos, meios de medição e outros recursos necessários.
- ü Mudanças com resoluções contidas: “as consequências de alguns eventos e ações presentes são previsíveis um pouco mais distante no futuro, com uma certa probabilidade, porque estamos repetindo o que fizemos no passado, mas não de maneira exatamente igual.” (PAIVA, 2001, p.87). A competência do sistema, representada pelo conhecimento técnico das pessoas envolvidas e também pela capacidade tecnológica instalada adapta rapidamente o conhecimento anterior em novos procedimentos para a realização dos esforços necessários. O sistema de gestão da qualidade entende isso como alterações necessárias e se preocupa em manter o sistema novamente atualizado. Tecnicamente um Sistema de

Gestão de Qualidade chama isso de melhoria contínua, gerenciada por um sistema de controle de documentos. Normalmente estas ações são resolvidas nas unidades envolvidas e não causam grandes impactos ao sistema.

- ü Mudanças com resolução aberta: as conseqüências de alguns dos eventos e ações presentes são únicas. Além de elas nunca terem ocorrido da mesma forma antes, não necessariamente precisam ser catastróficas; elas podem ser aparentemente pequenas e insignificantes. Estes tipos de mudança fogem totalmente de qualquer tipo de previsibilidade e sua abrangência não está relacionada com o “tamanho” da perturbação.

## 2.8 Sistemas Adaptativos Complexos

Segundo Coelho (2001, p.24), “pensar nas relações dos indivíduos e organizações entre si e com o meio ambiente é pensar em adaptações e, conseqüentemente, em aprendizagem”, ou seja, necessidade de adaptação é condição fundamental para a permanência no mercado. A Teoria da Complexidade estuda a adaptação através dos Sistemas Adaptativos Complexos – SAC (*complex adaptive systems*). “Os SAC’s são sistemas que constituem de um grande número de agentes que interagem entre si para produzir estratégias adaptativas para sobrevivência deles mesmos e, portanto, para os sistemas que fazem parte.” (STACEY, 1996, p.19).



A afirmação de Coelho (2001) denota uma importante característica dos sistemas complexos: a aprendizagem. Uma organização que aprende (*learning organization*) tem características notavelmente similares a um sistema adaptativo complexo: é a comparação realizada pelos cientistas. Freedman (1992) afirma que estes sistemas são altamente descentralizados; as decisões tomadas não prejudicam a ordem geral do sistema. Isso ocorre de forma pontual conforme a necessidade encontrada. O sistema possui “inteligência” e se ajusta constantemente. De fato, as organizações que aprendem reproduzem as configurações encontradas na natureza.

O termo “*learning organization*” foi cunhado por Peter Senge (1990) o qual aborda uma nova mudança na administração focada para a organização que aprende, cuja vantagem competitiva esta baseada em se ter capacidade suficiente para aprender e de continuar aprendendo continuamente, para melhorar o desempenho. O autor prossegue afirmando que “podemos então formar organizações de aprendizagem, nas quais as pessoas expandem continuamente sua capacidade de criar os resultados que realmente desejam, onde surgem novos desafios e as pessoas aprendem continuamente a aprender.” (SENGE, 1990, p.11). Ocorre o aumento do tamanho do “cérebro” da empresa, e ela se torna mais capacitada para lidar com os ambientes instáveis. Podemos, como extensão da interpretação, considerar esta instabilidade leva a auto-organização, uma importante característica de um sistema complexo.

Segundo Stacey, 1996; Axelrod e Cohen, 2000; Kelly & Allison, 1998, *apud* Coelho (2001, p.26) “a auto-organização, a adaptação, a co-evolução são princípios fundamentais do universo no qual nós vivemos e trabalhamos.” Para Kelly & Allison (1998) *apud* Coelho (2001, p.26) “cada sistema auto-organizado é único. Cada um emerge a partir de uma história específica e interage com um meio ambiente. Os siste-

mas auto-organizados produzem resultados que são diferentes e mais poderosos que aqueles que podem ser produzidos pelas partes do sistema atuando independentemente”. Importante salientar que a auto-organização ocorre em situações especiais que os autores chamam de instabilidade limitada. Segundo Stacey (1996), este estado é normalmente encontrado no que os teóricos da complexidade chamam de fronteira ou limite do caos.

Conforme aponta Gell-Mann *apud* McCarthy, Rakotobe-Joel e Frizzele (2000) Edward Deming já havia reconhecido que empresas são um tipo de Sistemas Adaptativos Complexos, isso remonta os anos 50. Nesta ocasião Deming considerou que as organizações constantemente reúnem informações sobre seus ambientes e as adaptam a ele.

## 2.9 A Produção Enxuta

Produção Enxuta (*Lean Manufacturing*) é um termo cunhado por Krafcik (Womack, 1998) utilizado para descrever um sistema que prevê a eliminação gradual dos desperdícios, através do uso de metodologias de melhoria contínua. Especificamente, o pensamento *lean* provoca melhorias e analisa o fluxo de materiais e informações no ambiente da manufatura, além de guiar a produção seguindo a demanda do cliente no tempo e na quantidade por eles estabelecidos. O objetivo final é um aumento na eficiência do trabalho, envolvimento de todos os participantes dos processos e a satisfação do cliente. Para Womack (1998), embora existam exemplos históricos da utili-

zação dos princípios contra o desperdício no século 15, os princípios *lean* foram inicialmente usados por Henry Ford, o primeiro a procurar obter uma manufatura livre de desperdícios.

Um aspecto importante no processo de produção enxuta é a questão do valor agregado. Para Csillag (1995, p.62) “o valor real de um produto, processo ou sistema é o grau de aceitabilidade de um produto pelo cliente e, portanto é o índice final do valor econômico.” E ainda, “quanto maior é o valor real de um item sobre um outro que sirva para a mesma finalidade, maior será a probabilidade de vencer a concorrência.” O autor expressa neste texto que a diferença entre dois produtos está no grau de percepção sob o ponto de vista único do cliente. Para Porter *apud* Correia (2003, p.16) o valor agregado está intimamente ligado à ocorrência da vantagem competitiva. Segundo ele “a vantagem competitiva surge fundamentalmente do valor que uma empresa consegue criar para seus produtos e que ultrapassa o custo de fabricação da empresa.”

Focalizando o processo produtivo de uma empresa manufatureira, o que agrega valor ao produto é a operação produtiva que é realizada para cumprir os requisitos do cliente ou consumidor final. É estratégico que a alta gerência de uma empresa vise fornecer produtos ou serviços valorizados a partir do ponto de vista do cliente e do consumidor, e não a partir da visão interna da organização. O mercado está cada vez menos disposto a adquirir produtos que não tenham os valores segundo as suas necessidades. Womack (1998) aponta para tendências culturais no momento da aplicação deste conceito, sendo as mais influentes as decorrentes das escolas alemã, norte-americana e japonesa. Para Womack (1998, p.5) a cultura americana considera como sendo determinante na criação de valor “as necessidades imediatas dos acionistas e a mentalidade financeira dos gerentes seniores, as quais predominam sobre as realida-

des cotidianas de especificação e criação de valor para o cliente.” Nas empresas Alemãs, ainda segundo Womack (1998, p.5) , prevalece o aprimoramento técnico:

Ao insistir nesta questão (no caso o elevado valor criado internamente às coisas ligadas à alta tecnologia) , muitas vezes ficava aparente que as funções técnicas e os especialistas altamente treinados que dirigiam as empresas alemãs extraíam seu senso de valor – sua convicção de que estavam fazendo um trabalho de alto nível – indo em frente com aperfeiçoamentos e complexidades que despertavam pouco interesse nas pessoas, exceto nos próprios especialistas. (WOMACK, 1998, p.5).

A terceira cultura apontada por Womack (1998, p.5) é a japonesa.

A maioria dos executivos, mesmo em empresas como a Toyota, pioneira do pensamento enxuto, iniciam o processo de definição de valor perguntando como podem projetar e fabricar seu produto domesticamente - a fim de satisfazer as expectativas sociais de empregos duradouros e relacionamentos estáveis com os fornecedores. Entretanto, a maioria dos clientes no mundo gosta de produtos projetados com o olho nas necessidades locais, algo difícil de se fazer à distância. (WOMACK, 1998, p.5).

Um SPE busca elevar o grau de agregação de valor no produto ou serviço e a diminuição de custos através da redução ou eliminação dos desperdícios observados durante o tempo necessário para a entrega de um produto ou serviço (*lead time*). O resultado esperado é uma empresa ágil e flexível, com margens de lucro aceitáveis e com um pessoal devidamente motivado. Segundo Giesta e Maçada (2003, p.1) “O sistema envolve, entre outros fatores, a redução do desperdício, o aumento da qualidade dos produtos, um maior fluxo de informações e a flexibilidade.” Bruno e Jordan (2002, p.109) concluem dizendo que “tal contexto requer funcionários motivados, satisfeitos e comprometidos, uma vez que estes também são responsáveis pelo desenvolvimento da organização.”

Para Womack *apud* Machado e Heineck (2000, p.4) as bases para a introdução de um sistema de produção enxuta devem ser suficientemente eficazes para responder positivamente as seguintes características:

1. A definição detalhada do significado de valor de um produto a partir da perspectiva do cliente final, em termos das especificações que este deveria ter, considerando aspectos relacionados às suas capacidades, ao seu preço e ao tempo de produção.
2. A identificação da cadeia de valor para cada produto ou família de produtos e a eliminação das perdas.
3. A geração de um fluxo de valor com base na cadeia de valor obtida.
4. A configuração do sistema produtivo de forma que o acionamento da cadeia de valor seja iniciado a partir do pedido do cliente ou, em outras palavras, a utilização de uma programação puxada.
5. A busca incessante da melhoria da cadeia de valor através de um processo contínuo de redução de perdas.

## 2.10 O Sistema Toyota de Produção

Para Bamber e Dale (2000, p.292) Taiichi Ohno e Shigeo Shingo foram os responsáveis pelo desenvolvimento do sistema de produção da Toyota, mas foi Womack que o popularizou no ocidente. Segundo Ohno (2002) o Sistema Toyota de Produção, essencialmente, troca o foco da engenharia de manufatura de máquinas in-

dividuais e sua utilização para o fluxo dos produtos através do processo visto como um todo. Kiichiro Toyoda, Taiichi Ohno e outros integrantes da Toyota atentaram inicialmente para esta situação nos anos 30 e, com mais vigor, após o término da segunda guerra mundial. Eles perceberam que uma série de pequenas e simples inovações poderia combinar um processo de fluxo contínuo com uma ampla variedade de produtos oferecidos. Desta forma, o grupo da Toyota revisou o pensamento original de Henry Ford e inventou o Sistema Toyota de Produção.

Toyoda e sua equipe reuniram os seguintes pressupostos: máquinas colocadas corretamente em função do volume atualmente necessário; a introdução de automonitoramento em máquinas para garantir a qualidade; máquinas alinhadas na sequência do processo; máquinas com *setup* independentes do número de peças a serem produzidas; e notificação de cada etapa do processo pela sua predecessora quando da necessidade da introdução de materiais. Concluíram eles que a ocorrência simultânea desses pressupostos torna possível obter produtos a um custo baixo, elevado número de tipos, alta qualidade e um tempo de passagem dentro da produção suficientemente reduzido para responder às constantes trocas de desejos de seus consumidores.

A base do Sistema Toyota de Produção é a absoluta eliminação de todo o tipo de desperdício. A tradução mais apropriada da palavra desperdício em japonês é *muda*. Womack (1998) define desperdício como sendo

Qualquer atividade humana que absorve recurso, mas não cria valor: erros que exigem retificação, produção de itens que ninguém deseja, acúmulo de itens no estoque, etapas de processamento que na verdade não são necessárias, movimentação de funcionários e transporte de mercadorias de um lugar para outro sem propósito, grupos de pessoas em uma atividade posterior que ficam esperando porque uma atividade não foi realizada dentro do prazo, e bens e serviços que não atendem as necessidades dos clientes. (WOMACK, 1998, p.3).

Para Liker (2004, p.28) o sucesso que representa o modelo Toyota de produção está baseado na “compreensão das pessoas” e na “motivação humana”. O autor prossegue afirmando que “ seu sucesso, essencialmente, baseia-se em sua habilidade de cultivar liderança, equipes e cultura para criar estratégias, construir relacionamentos com fornecedores e manter uma organização de aprendizagem.” (LIKER, 2004, p.28).

#### 2.10.1 Os Desperdícios da Produção

A análise dos desperdícios é o ponto de partida para o entendimento das características de uma empresa enxuta. O envolvimento das pessoas, melhorias contínuas e a parcimônia são elementos comuns nesta abordagem. Segundo Slack (1997, p.479) “desperdício pode ser definido como qualquer atividade que não agrega valor.” Estes desperdícios foram originalmente identificados pela Toyota e podem ser aplicáveis a vários tipos de operações diferentes. Ohno (2002, p.39) nos apresenta originalmente sete tipos de desperdícios, sendo que mais tarde Womack (1998) apresenta também a má utilização do potencial humano como sendo o oitavo desperdício. São os seguintes os tipos identificados por Ohno e Womack:

- ü Superprodução: é o desperdício de se produzir antecipadamente à demanda, para o caso de os produtos serem requisitados no futuro. Este é o desperdício que o *just in time* procura evitar. Produzir somente o necessário é a base deste

sistema. O estoque excessivo é visto como subterfúgio para lidar com as ineficiências da produção.

- ü Tempo de espera: é o material que está esperando para ser processado, formando filas que visam garantir altas taxas de utilização dos equipamentos. Segundo Slack (1997, p.479) “menos óbvio é o tempo de espera que ocorre quando os operadores estão ocupados produzindo estoque em processo, que não é necessário naquele momento.” O tempo de espera em frente aos postos operativos é uma grande fonte de desperdício. Este problema piora quando se vai agregando custo ao produto, através das operações necessárias.
- ü Transporte: o transporte e a movimentação de materiais são atividades que não agregam valor ao produto e são necessárias devido às restrições do processo e das instalações por vezes distantes. Na verdade é um exemplo típico de algo que não agrega valor ao produto, mas é de suma importância no processo produtivo. Quando a filosofia JIT fala em produção puxada, subentende-se que a necessidade de não se perder tempo no deslocamento é perfeitamente entendida pelo sistema, principalmente pelo operador que se preocupa em entregar peças concluídas ao posto seguinte.
- ü Processo: desperdício inerente a um processo não otimizado, ou seja, a existência de etapas ou funções do processo que não agregam valor ao produto. Ao mesmo tempo em que é a maior fonte geradora de ganho, o processo pode ser um grande foco de desperdício.
- ü Estoque: no sistema de produção tradicional os estoques têm sido utilizados para evitar paradas do processo produtivo frente aos problemas de produção.



- ü Movimentação: é o desperdício gerado pela movimentação de operadores em busca de ferramentas e equipamentos necessários à produção.
- ü Produtos defeituosos: é o resultado físico mais contundente do desperdício. Torna-se óbvio que todos os esforços aplicados a um produto defeituoso se transformou em perda. Produtos defeituosos significam desperdício de materiais, de mão de obra, do uso de equipamentos, além da movimentação e da armazenagem.
- ü Pessoal: má utilização da experiência e da capacidade mental e criativa das pessoas. Embora Ohno não tenha enumerado originalmente o desperdício de mão de obra, ele trata do assunto quando refere-se ao tempo que um operador fica observando algo sendo processado e poderia estar sendo utilizado em outras operações com equipamentos diferentes.

#### 2.10.2 As Bases Fundamentais do Sistema Toyota de Produção

Ghinato (2000) afirma que “toda a estabilidade requerida para que o Sistema Toyota de Produção alcance a estabilidade necessária está ancorado em dois pilares: a automação (*jidoka*) e no *just in time*.” A comunhão destes dois princípios é o principal fator que aproxima a agilidade no atendimento às solicitações do mercado com a humanização da mão de obra. Ghinato (2000) propõem que o Sistema Toyota de Produção pode ser representado por uma figura equivalente a uma casa, onde o JIT e a automação são seus pilares principais (ver figura 05).

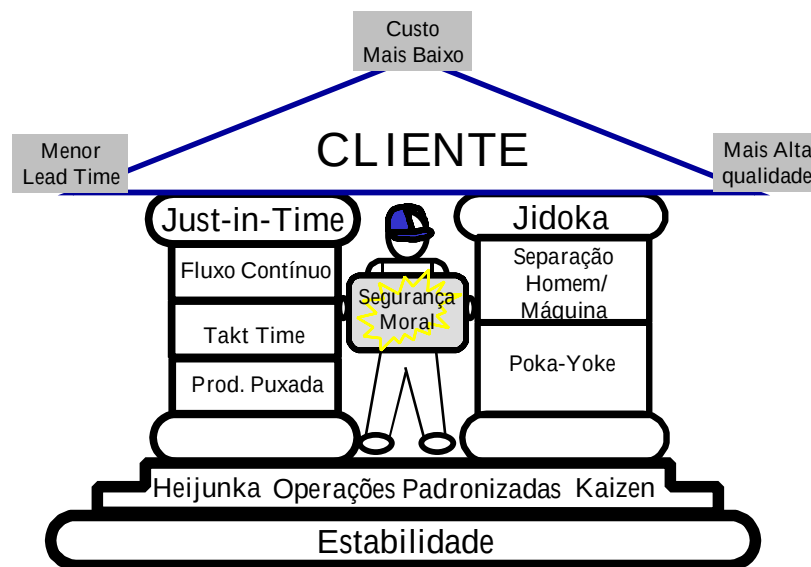


Figura 05: A Casa do Sistema Toyota de Produção. Fonte Ghinatto (2000, p.5).

#### 2.10.2.1 Just in Time

Segundo Bicheno *apud* Campos (2000, p.21) “O *Just in Time* visa atender a demanda instantaneamente, com qualidade perfeita e sem desperdícios.” Os métodos convencionais de Planejamento e Controle da Produção adotam como premissa a adoção de sistemas informatizados, baseados em demandas históricas e na sazonalidade de determinados eventos. O JIT aparece com um semblante mais filosófico do que uma ferramenta de controle. A óbvia influência oriental valoriza o ser humano e coloca sob sua responsabilidade a função de puxar a produção, onde a idéia principal é a de produzir a quantidade certa no momento certo.

Existe uma forte resistência aos estoques intermediários da produção, sendo eles encarados como um “*manto negro*” (Slack, 1997, p.475). A forte tendência que possuímos em se utilizar os famosos coeficientes de segurança em nossos cálculos, prevendo desabastecimento, quebras de máquina, absenteísmo, são condenados no JIT. A palavra de ordem é a idéia do não desperdício.

A não-utilização de estoques reguladores deixa o sistema produtivo mais exposto a condições indesejáveis tais como: quebra de máquinas, problema de qualidade, retrabalho, demanda instável. Na realidade cria-se um alto grau de dependência entre os diferentes setores da empresa, quebrando a idéia da individualidade. Um problema que venha a acontecer pode ser o responsável pela parada da linha de produção, levando a empresa adotar o trabalho em equipe para resolver as situações adversas. O tempo hábil gerado pelo estoque intermediário não existe mais.

O JIT é uma filosofia de trabalho pelo elevado grau de comprometimento que demanda. Além de uma filosofia, o JIT é um conjunto de técnicas, para Slack (1997, p.474) esta distinção ocorre de maneira bastante simples:

- ü O JIT como filosofia de produção: eliminação de desperdícios, envolvimento das pessoas e aprimoramento contínuo.
- ü O JIT como técnica de produção: foco na produção, TPM, redução de setup, visibilidade, arranjo físico e fluxo, máquinas pequenas e simples.
- ü O JIT como um método de planejamento e controle: programação puxada, controle Kanban, modelos mesclados e sincronização.

Algumas restrições sobre o JIT devem ser observadas, principalmente quando o sistema é dependente de fornecedores externos. Fatores externos ao universo em que a empresa está situada podem ser responsáveis por paradas de linha que

geram prejuízos elevados. Estes fornecedores, para garantir serem participantes de um sistema JIT, paradoxalmente mantêm estoques internos. Corrêa (2001) expressa bem este problema:

As principais limitações do JIT estão ligadas à flexibilidade de faixa do sistema produtivo, no que se refere à variedade de produtos oferecidos ao mercado e as variações de demanda de curto prazo. O sistema requer que a demanda seja estável para que consiga um balanceamento adequado dos recursos, possibilitando um fluxo de materiais suave e contínuo. Caso a demanda seja muito instável, há uma necessidade de manutenção de estoques de produtos acabados em um nível tal, que permita que a demanda efetivamente sentida pelo sistema produtivo tenha uma certa estabilidade. (CORRÊA e GIANESI, 2001, p.99).

#### 2.10.2.2 Autonomia

O outro pilar do Sistema de Toyota de Produção chama-se autonomia. Ohno (2002) insiste em que não ocorra confusão entre o termo *autonomia* com automação. O termo em Japonês, criado pela Toyota, é *Jidoka*. Sua pronúncia é exatamente a mesma para a palavra automação. A diferença é a conotação humanística que ela apresenta e o foco na criação de valor. O autor nos diz que o conceito de *Jidoka* surgiu no início do século XX, quando Sakichi Toyoda, fundador do grupo Toyota, inventou um tear com parada automática em caso do rompimento do fio. Antes disso, se um fio quebrasse, o tear continuava funcionando e o resultado era grandes quantidades de tecido com defeito. Assim, era necessário o constante monitoramento das máquinas por um operador. A inovação de Toyota permitiu que um operador controlasse muitas máquinas. O objetivo é fornecer às máquinas e seus operadores a habilidade

de detectar condições anormais durante a operação; e, quando isso ocorrer, interromper imediatamente o trabalho. Isso possibilita que as operações ocorram em conformidade com a qualidade especificada para cada etapa do processo. Também separa o homem das máquinas para um trabalho mais eficiente.

## 2.11 Cadeia de Valor

Segundo Womack (1998, p.8) cadeia de valor é “o conjunto de todas as ações específicas necessárias para se levar um produto específico a passar pelas três tarefas gerenciais de qualquer negócio: a tarefa de solução de problemas, a tarefa de gerenciamento de informação e a tarefa de transformação física.” O autor considera na tarefa de solução de problemas o que acontece no trajeto entre o projeto e o lançamento do produto. A tarefa de gerenciar informações abrange todo o fluxo de informações entre o pedido do cliente e a entrega do produto ou serviço. A tarefa de gerenciamento da transformação física diz respeito à passagem do estado de matéria prima para produto final, ou seja, a produção. Rother e Shook (1999, p.3) tratam o assunto como sendo “toda ação (agregando valor ou não) necessária para trazer um produto por todos os fluxos essenciais a sua concepção, o fluxo de produção desde a matéria prima até os braços do consumidor, e o fluxo do projeto do produto, da concepção até o lançamento.” Moreira & Fernandes (2001, p.4) destacam que o fluxo “é a realização progressiva das tarefas ao longo da cadeia de valor, e na melhor das hipóteses, sem interrupções ou refugos (fluxo contínuo).” Porter (1991, p.55) acrescenta que “a cadeia de valor per-

mite um exame mais profundo não só dos tipos de vantagens competitivas (custo e diferenciação), mas também do papel do âmbito competitivo na conquista da vantagem competitiva.” O autor verifica que existem maneiras extras de se obter vantagens competitivas quando o universo a ser avaliado transcende o ambiente funcional, mais fácil de ser gerenciado e soberano nas decisões e estratégias. A análise da cadeia de valor abre novas opções no campo da competitividade, uma vez que é possível tomar conhecimento de como a concorrência atua em seu ambiente externo.

Silva (2002, p.49) verifica a relação entre cadeia de valor e a complexidade. Segundo o autor a análise de mercado em um ambiente concorrencial não corresponde a uma relação causa-efeito, onde algumas opções podem ocorrer:

- ü Tentar prever, em linhas gerais, o que irá acontecer.
- ü Aceitar a complexidade, não tendo fundamentação para reconhecê-la e estimar, aleatoriamente, as tendências de mercado.
- ü Tentar compreender a dinâmica do mercado para estimar as linhas de tendência para o setor.
- ü Tentar compreender a dinâmica do mercado, traçar as linhas de tendência.
- ü Avaliar como a empresa afeta ou pode ser afetada por esses cenários.

Dentro da visão da eliminação de desperdícios, a tomada de decisão baseada em previsões e tendências no momento de se definir o que e quanto produzir, é uma prática não permitida. Nesta filosofia, a ordem do dia é definida pela necessidade do cliente. Silva (2002) apresenta opções onde é clara a utilização de tentativas, mas suas afirmações são baseadas na incrível dinâmica que a maioria dos mercados apresenta, principalmente devido à corrida tecnológica vivenciada atualmente. Uma das capacidades da empresa é justamente buscar estabelecer essas novas tendências. “An-

tever-se no processo e participar da definição do novo padrão concorrencial. Isto denota a complexidade da integração do ambiente econômico decisório da firma, porém ressalta sua relevância.” (SILVA, 2002, p.50).

A análise da cadeia de valor mostra a dinâmica do mercado, sendo que é preciso criar sistemas de monitoramento para ser obter informações em tempo hábil para a tomada de decisão frente a novas tecnologias e tendências.

A tarefa de desenhar a cadeia de valor se transforma em algo cada vez mais complexo em função das variáveis envolvidas no processo. Ao analisar a cadeia de valor responsável pela montagem de um automóvel estaríamos diante de um emaranhado de tipos de matérias primas e processos industriais que culminam na montagem de uma unidade. Após a montagem, inicia-se outra etapa da cadeia que é a chegada do automóvel nas mãos de um consumidor qualquer. Neste momento acontece o reconhecimento do que é valor agregado, saciando um desejo ou cumprindo uma necessidade.

Normalmente uma empresa de manufatura tende a analisar esta cadeia somente dentro de sua planta. Esta visão contribui para a promoção de melhorias locais, as quais certamente acarretam em ganhos. O problema é que não se é eficiente agindo somente na própria planta, fazendo com que problemas externos sejam compensados por melhorias internas. A necessidade da integração de todos os processos necessários ao atendimento dos requisitos do cliente obriga as empresas a olhar “para fora” e monitorar e controlar o desempenho de todos os envolvidos nesta intrincada rede. Tudo o que ocorre nesta cadeia, deveria agregar valor ao produto. Se isso não ocorrer estaremos diante de um desperdício, o qual deve ser reduzido ou eliminado.

## 2.12 A Norma ISO 9001:2000 como Sistema de Gestão

Verificamos anteriormente que existe a necessidade de uma estrutura organizacional mínima para a correta condução das atividades. Simões (2003, p.4) atesta esta afirmação ao dizer que “de fato, nenhuma empresa, principalmente se for uma organização de grande porte, pode sobreviver sem padrões mínimos de confiabilidade e reprodutibilidade. E esses dois requisitos traduzem-se em normas, procedimentos, hierarquia e controle.”

A empresa a ser utilizada como exemplo de implantação do modelo apresenta uma estrutura adhocrática, segundo a divisão de Mintzberg (1995). As turbulências com amplitude sistêmica são resolvidas após a reunião de departamentos distintos, os quais agregam conhecimento de forma independente e tomam as necessárias medidas de contenção. Podemos afirmar que a proposta de Mintzberg encontra um bom exemplo de aplicação em sistema de gestão desta natureza, visto o forte apelo a reuniões explicitamente marcadas pela heterogenia funcional. Podemos citar, por exemplo, a vasta utilização da técnica do *brainstorming*<sup>10</sup> que tem como premissa uma variação de competências funcionais.

A Norma ISO 9001:2000 (ABNT, 2000) apresenta uma estrutura burocrática interessante para a gestão, uma vez que determina como requisito mandatório a gestão por processos. Smith (2002, p.22) considera que em uma empresa que foca a redução dos desperdícios (produção enxuta), “o sistema de gerenciamento da qualida-

---

<sup>10</sup> N.A. “Tempestade de idéias”: metodologia de auxílio na resolução de problemas baseada na livre exposições de idéias sobre o assunto em questão.



de deve ser o ponto primordial da organização.” A necessidade de se gerenciar por processos é vista pelo autor como fundamental para aplicação de conceitos de manufatura enxuta.

Esta imposição permite abranger todos os processos necessários à satisfação do cliente, ou seja, cria uma estrutura organizacional integrada e que por vezes é auditada para a verificação de sua consistência. A Norma é estruturada com base na ferramenta de planejamento conhecida como PDCA, a qual tem a importante característica de ser dinâmica. Este dinamismo está evidente no momento do fechamento do ciclo do PDCA, onde o termo Ação deve ser entendido como “oportunidade de melhoria”. Um sistema gerido pela Norma ISO 9001:2000, tem como objetivo maior o atendimento claro das necessidades dos clientes. Quando a Norma declara como necessária a “interpretação das necessidades explícitas, implícitas” estabelece um comprometimento “normatizado” com o valor agregado. Como já analisado anteriormente, a maior agregação de valor possível é o grande objetivo de um sistema enxuto de produção. Em um primeiro momento, atender as expectativas seria entregar produtos ou serviços onde a conjunção necessidade declarada – valor entregue esteja completa. Em um segundo instante inicia-se uma busca no sentido de despertar novas necessidades, ou até mesmo desejos, para que possíveis solicitações ainda não emergentes sejam identificadas e por fim satisfeitas.

Segundo Mello *et al* (2001,p.113) “o segundo passo na determinação dos requisitos relacionados ao produto, seria definir quais os requisitos necessários para o uso especificado ou pretendido do produto ou serviço que não foram declarados pelo cliente”, ou seja, os requisitos que nem o cliente sabe que são necessários para a aplicação a que o produto ou serviço se destina, mas que a organização, por experiên-

cia, conhece e sabe que, se não forem incluídos, podem comprometer a satisfação do cliente. Estas parcelas não declaradas, olhando para o lado da organização, são operações ou agregados do serviço que estão disponíveis e que devem ser entendidas como valor agregado. Se isto não ocorrer, ou seja, parte dos serviços incorporados e processos realizados não forem observados pelo cliente, estes serviços incorporados ou processos realizados simplesmente não precisariam acontecer. A Norma completa o atendimento das solicitações do cliente com mais dois requisitos: se existe algum requisito estatutário ou regulamentar relacionado a seu produto ou serviço para o atendimento dos clientes, tais como normas, regulamentos, leis ou portarias municipais, estaduais ou federais; quaisquer requisitos adicionais que a própria organização determina também devem ser considerados.

Giovaninni (2002, p.67) afirma que “sistemas de Gestão da Qualidade sempre existiram, de alguma forma, nas organizações. Recentemente tomou força, especialmente no mundo industrial, a idéia da adoção de normas visando à estruturação de Sistema Geral da Qualidade, eficazes”, e ainda “um dos primeiros a iniciar a adoção destas normas, fora dos setores que tradicionalmente tinham esta preocupação, foi o automobilístico. Desta forma, o setor metal-mecânico aderiu a esta idéia, primeiro de forma induzida, depois de forma voluntária.” (GIOVANINNI, 2002 p.67).

Mello *et al* (2001,p.16) nos diz que “organizações de áreas como aeroespacial, automotiva, defesa ou saúde têm operado com sistemas de gestão há anos. As normas de sistema de gestão da ISO tornam essas práticas de sucesso disponíveis para todas as organizações.” Outro fato importante na questão da utilização da Norma ISO 9000:2000 para a gestão da organização é estar intimamente ligada ao Planejamento Estratégico da empresa. Um dos itens a serem adicionados no Planejamento

Estratégico, por força da norma, são os Objetivos da Qualidade. Neste momento abre-se uma oportunidade de lançar vários Indicadores de Desempenho para monitorar os diversos departamentos, não restringindo ao sistema de gestão da qualidade a verificação do produto. Novamente encontramos um ponto onde o Sistema de Gestão da Qualidade demonstra afinidade com o tema em questão. Apesar de ser visto inicialmente como um sistema que garanta o atendimento às especificações do cliente sob a forma da entrega do produto ou serviço dentro do acordado, a Norma ISO 9001:2000 determina a utilização de certos controles, monitoramento e inspeções que atingem a cadeia de valor.

Hollands (2003, p.8) imputa ao sistema baseado nas Normas ISO 9001:2000 a responsabilidade por melhores formas de trabalho dentro da organização e também pela ocorrência cada vez mais acentuada de indicadores de processos. O que era considerado uma antipatia, visto a associação entre sistemas da qualidade com as leis e a burocracia, transformou-se num sistema onde as características abaixo são perfeitamente conseguidas:

- ü Interação entre todos os processos pertencentes às unidades de negócios da organização.
- ü A presença de indicadores para monitorar e controlar estes negócios.
- ü Definição clara de responsabilidades.
- ü Fluxogramas de interligação entre os diversos processos necessários à condução dos negócios.

A Norma ISO 9001:2000 declara como obrigatório demonstrar as inter relações entre os processos. De acordo com a ABNT/CB-25 (MELLO *et al*, 2001, p.25)

os oito princípios da gestão da qualidade para um sistema gerido pelas Normas ISO 9000:2000 podem ser verificados pela tabela 03 a seguir.

|                                                     |                                                                                                                                                                                                                                      |
|-----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Foco no Cliente:                                    | As organizações dependem de seus clientes e, portanto, é recomendável que atendam às necessidades atuais e futuras do cliente, a seus requisitos e procurem exceder as suas expectativas.                                            |
| Liderança:                                          | Líderes estabelecem a unidade de propósitos e o rumo da organização. Convém que eles criem mantenham um ambiente interno, no qual as pessoas possam estar totalmente envolvidas no propósito de atingir os objetivos da organização. |
| Envolvimento das pessoas:                           | Pessoas de todos os níveis são a essência de uma organização e seu total envolvimento possibilita que suas habilidades sejam usadas para o benefício da organização.                                                                 |
| Abordagem por processo:                             | Um resultado desejado é alcançado mais eficientemente quando as atividades e os recursos relacionados são gerenciados como um processo.                                                                                              |
| Abordagem sistêmica para a gestão:                  | Identificar e gerenciar os processos inter-relacionados como um sistema contribui para a eficácia e a eficiência da organização no sentido de atingir seus objetivos.                                                                |
| Melhoria contínua                                   | A melhoria contínua do desempenho global da organização deveria ser um objetivo permanente.                                                                                                                                          |
| Abordagem factual para a tomada de decisão:         | Decisões eficazes são baseadas na análise de dados e informações.                                                                                                                                                                    |
| Benefícios mútuos nas relações com os fornecedores: | Uma organização e seus fornecedores são interdependentes, e uma relação de benefícios aumenta a capacidade de ambos em agregar valor.                                                                                                |

Tabela 03: Princípios Fundamentais da ISO 9001:2000. Adaptado de Mello *et al* (2002).

## 2.13 Síntese sobre o Capítulo

A revisão bibliográfica busca inicialmente a fundamentação em três diferentes vertentes de conhecimento: o entendimento de como podem ocorrer as estruturas organizacionais (no caso estudado foram consideradas os modelos organicistas e mecanicistas), as formas usuais de como estas estruturas se relacionam e sua reação frente ao mercado em que atuam. As formas de reação são identificadas pelas propos-

tas de Mintzberg (1995). Outro entendimento necessário versa sobre a teoria da complexidade, considerado por alguns autores como sendo o novo paradigma para se entender os sistemas sociais. A eleição desta teoria acontece por se aproximar em muitos aspectos de um sistema organicista.

A apresentação do sistema de produção enxuta se faz necessário por ser uma filosofia de gestão da produção que reúne diversas conquistas da produção em massa (redução de custos por unidade produzida e *lead times* reduzidos) com a valorização da atividade desempenhada pelo ser humano, o apelo à melhoria contínua e a sensibilidade traduzida em eficácia ao atendimento dos requisitos dos clientes em um mercado fortemente marcado pela customização e variedade. Procura-se firmar a necessidade da burocracia para manter uma ordem inicial mínima do sistema e a padronização de tarefas julgadas como simples e complicadas, caracterizadas também por serem de resolução aberta, fechada ou contidas. Para atender a esta ordem inicial, consideramos a Norma ISO 9001:2000 como sendo uma forma eficiente de controle de diversas atividades, visto o sentido holístico que vem tomando após a sua última alteração de edição ocorrida em dezembro de 2000. A seqüência do trabalho utilizará estes conceitos para o entendimento de Sistema de Produção Enxuta como sendo complexo e avaliar desta forma as medidas padronizadas utilizadas na sua implantação.

### 3 ANÁLISE DOS SISTEMAS DE GESTÃO DA PRODUÇÃO A PARTIR DA ABORDAGEM DA COMPLEXIDADE

Este capítulo versa sobre a análise de um sistema de produção quando analisado sob a forma de um sistema complexo.

#### 3.1 Introdução

As técnicas utilizadas para a Gestão Sistemas de Produção, na maioria das vezes, são visivelmente determinísticas. Podemos citar a utilização do diagrama de causa-efeito de Ishikawa (1993) em sistemas de Gestão da Qualidade, o qual hierarquiza as causas observadas como primárias, secundárias e até terciárias; ou então gráfico do tipo ABC em sistemas de Gestão de Negócios, entre outros. Muitas vezes a priorização da causa fundamental em detrimento da simplificação elimina dados importantes. Outra prática bastante utilizada é a Análise de Pareto (Werkema, 1995), a qual nos diz que 20% das causas são responsáveis por 80% dos problemas, levando o grupo responsável à resolução do problema a desconsiderar determinadas variáveis em detrimento de uma simplificação.

Para sistemas simples ou complicados, segundo a definição de Morin (1977) *apud* Iarozinski (2004), esta forma de simplificação é uma prática aceitável, visto a possibilidade de se definir grande parte das variáveis do sistema e de se poder esta-

belecer relações previsíveis entre estas variáveis. Em um sistema complexo, os 80% restantes como no caso de Pareto, embora pareçam menos importantes, podem ser causadores de grandes perturbações e vir a determinar novas situações indesejáveis na saída. A principal preocupação quando o assunto é a resolução de problemas em um sistema complexo é justamente não se perder nenhuma informação. Não se pode perder de vista o fato de que o comportamento das partes integrantes, quando analisadas separadamente, pode ter um comportamento completamente desigual se comparadas ao seu desempenho no sistema. Bauer (1999) avalia esta simplificação e alerta para a possibilidade de conclusões errôneas. Segundo o autor a redução pode levar à conclusão que as partes possuem um comportamento simples e até mesmo previsível. Esta condição deve ser evitada, uma vez que quando estas partes assumem suas funções no sistema conduzem a um comportamento extremamente complicado do todo.

No Sistema de Produção Enxuta, o apelo ao determinismo em detrimento ao entendimento dinâmico do sistema dificulta ações que busquem a flexibilidade e a adaptabilidade. Alguns autores ao tratar da implantação de sistemas de produção enxuta, atestam esta afirmação. Podemos citar Womack (1998): as propostas enunciadas por ele não falam em possíveis instabilidades do sistema. Rother e Shook (1999), Rother e Harrys (2002) fazem proposições tipicamente determinísticas em seus manuais de aplicação. A própria definição do *takt time*<sup>11</sup>, uma das bases de funcionamento do modelo de um SPE, é uma métrica tipicamente determinística. A observação sobre a proposta de Rother e Shook (1999) e Rother e Harrys (2002) leva ao questionamento de que é tarefa excessivamente difícil manter por muito tempo uma produção no mesmo ritmo que a demanda, fabricando os itens necessários somente quando houver inte-

---

<sup>11</sup> Tempo disponível para a produção dividido pela demanda do cliente. Léxico Lean (2003).

resse pelo cliente. A crítica neste sentido é de que os autores não abordam as inúmeras possibilidades de variação em que o sistema está inserido.

### 3.2 A Complexidade e a Gestão dos Sistemas de Produção

Para Bauer (1998, p.44) “sistema é um conjunto de elementos em interação.” O autor apresenta ainda outras definições: “sistema é um todo organizado e complexo”, ou “sistema é um conjunto de elementos interdependentes, cujo resultado final é superior ao somatório dos resultados que esses elementos teriam caso operassem de forma isolada.” (BAUER, 1999, p. 45). A aplicação destes conceitos a um sistema de produção é completamente factível. As ações necessárias à manufatura requerem uma constante interação com todas as partes envolvidas. Paralelo a isso surge a complexidade, um fator a ser analisado em todas as ações destinadas a sua gestão. Agostinho (2003, p. 16) afirma que “há muito, os administradores vêm notando que o controle rigoroso de suas organizações é impraticável. Tamanho é o número de relações – internas e externas, que estes sistemas estão sujeitos.” A autora esclarece que a atual gestão de sistemas de produção deve ser realizada partindo da premissa que eles têm um comportamento complexo, ou seja, são dinâmicos, imprevisíveis e emergentes.



### 3.3 A Complexidade dos Sistemas de Produção

A Teoria da Complexidade é utilizada no sentido de prever a reação dos mais variados sistemas frente a possíveis distúrbios, não sendo diferente se adotarmos a sua abordagem frente ao sistema de produção. Na maioria deles, como afirma Prigogine (2002, p.12), “uma pequena perturbação amplifica-se, e trajetórias inicialmente próximas divergem. A instabilidade introduz novos aspectos essenciais.” Estas alterações ocorrem de diferentes formas, sendo que o meio no qual o sistema está inserido determinará uma situação particular para cada tipo específico de distúrbio.

As características propostas por Casti (2005), já apresentadas na revisão bibliográfica, permitem afirmar que a complexidade é algo presente em sistemas produtivos: eles são catastróficos, caóticos, irreversíveis e emergentes. No caso de um Sistema de Produção Enxuta a observação da complexidade tem a mesma relevância. Uma avaliação das sete formas de desperdícios apresentadas por Ohno (2002), consideradas como fundamentais para a existência de uma manufatura enxuta, carece de uma aproximação com a teoria da complexidade. O controle sobre a abrangência destes sistemas auxilia o observador nas tomadas de decisão, sendo que fatos aparentemente insignificantes não podem ser desprezados. Como já foi visto anteriormente, os paradigmas do determinismo e da reversibilidade do tempo ainda ocupam um importante papel nas decisões organizacionais, os sistemas são muitas vezes analisados através da formulação de uma relação linear, como por exemplo do tipo causa - efeito. As respostas encontradas são frutos desta relação, a qual de forma consciente retira partes deste sistema em nome da priorização da causa fundamental. A introdução do es-

tudo da complexidade nas chamadas Ciências Sociais propõe mudar este paradigma e começar a encarar os sistemas como dinâmicos, irreversíveis e probabilísticos; transformando o que era exceção muitas vezes em regra. No caso específico da implantação de Sistemas de Produção Enxuta, o primeiro ponto a ser definido passa a ser o grau de complexidade do sistema. Este grau tem como uma das suas premissas a dinâmica, representada pelas relações entre a incerteza, a variedade e a imprevisibilidade. Estamos falando de um sistema complexo que, diferente de um sistema linear que possui soluções previsíveis, apresenta várias leituras em função das diversas combinações entre as variáveis de entrada em relação ao sistema observado.

Gleiser (1999, p.13) considera que “é necessário encarar um sistema complexo como evolutivo e dinâmico, em vez de um sistema em busca do crescimento equilibrado e estável.” Para sistemas dinâmicos complexos, equilíbrio é igual à morte, o fim de sua evolução. Para se adaptar e evoluir, o sistema deve experimentar, com uma relativa frequência, estar às margens do caos, ponto onde a criatividade, flexibilidade e agilidade passam a ser os requisitos mais exigidos. Tudo isso deve ocorrer sem que a estrutura organizacional seja afetada. A evolução ou degeneração de um sistema dinâmico complexo ocorre por saltos, sendo que estes saltos podem ser entendidos como a reação do sistema frente às mudanças de paradigmas. Cada salto do sistema é função de sua reação frente a atratores, os quais podem levar a evolução ou a um tipo de auto-organização prejudicial ao sistema. A adoção de SPE's em empresas com grau de complexidade mais elevada exigem tratativas diferentes quando da sua implantação e manutenção.

### 3.4 Dimensões da Complexidade

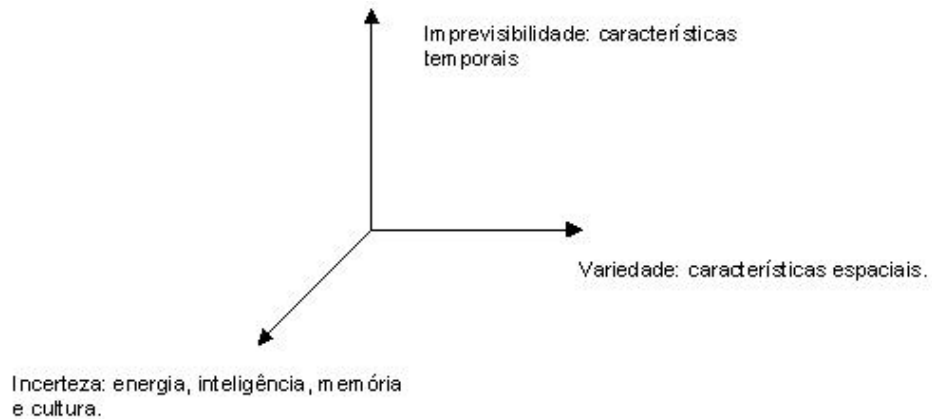


Figura 06: As dimensões da complexidade segundo Iarozinski (2005).

Segundo Iarozinski (2005) os sistemas complexos estão sujeitos à inter-relação gerada pela imprevisibilidade, variedade e pela incerteza (ver figura 06, acima). No caso da implantação de um sistema de produção enxuta, torna-se inevitável esta avaliação. Se observarmos cada elemento de um sistema produtivo, veremos que ele está intrinsecamente ligado ao sistema maior e à mercê destas características. O autor relaciona os seguintes fatores com as características de um sistema complexo:

- ü Fator quantitativo - relacionado à quantidade de elementos que fazem parte do sistema observado (variedade de produtos, quantidade de componentes dos produtos, número de operações em um processo de fabricação, etc.).
- ü Fator qualitativo - relacionado à informação que o observador tem em dado instante do sistema observado (estado em que se encontra a produção, capacidades disponíveis, as necessidades de cliente, etc.).

- ü Fator dinâmico - relacionado à evolução do sistema no tempo (ocorrência de falhas nos equipamentos, atrasos de fornecedores, a demanda, tempo real de fabricação, etc.)

Para Iarozinski (2005, p.3) a variedade em sistemas produtivos está ligada a características do sistema operacional necessários à ocorrência da produção. Nesta conta deve-se levar em consideração fatores como a quantidade de componentes manufaturados, o número de processos utilizados, a quantidade de procedimentos envolvidos, ou seja, envolve fatores quantitativos relacionados ao sistema. O autor prossegue afirmando que a “imprevisibilidade é a impossibilidade para prever com precisão a evolução do sistema.” (IAROZINSKI, 2005, p.3). O aumento da imprevisibilidade ocorre em função do aumento do número de elementos internos e externos se inter-relacionando com o sistema de produção. Segundo o mesmo autor “estes elementos influenciam e são influenciados tornando muito difícil as previsões sobre a evolução do sistema.”

A incerteza está ligada a informação parcial sobre o sistema. Iarozinski (2005, p.3) considera que a “variedade e imprevisibilidade são características diretamente associadas ao sistema observado (sistema produção), a incerteza tem uma dependência maior do observador.” A incerteza está relacionada com características do sistema de produção, do sistema de informação e das capacidades de entendimento do observador.

Desta forma, o sistema deve ser observado sob a luz destas três variáveis. A partir desta percepção é possível fazer um diagnóstico da situação atual do sistema e elaborar um rol de medidas para dominar a situação. As tabelas 04 e 05 a se-

guir ilustram algumas condições presentes em sistemas gerais separadas pelos critérios apresentados:

| Variedade                                                                                                                                                                                                                                                                           | Incerteza                                                                                                                                                                                                                                                              | Imprevisibilidade                                                                                                                                                                                                                                                         |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>ü Quantidade e diversidade dos elementos envolvidos.</li> <li>ü Número dos estados de um sistema.</li> <li>ü Número de configurações que um sistema pode assumir.</li> <li>ü Está relacionada com a dimensão espacial do sistema.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>ü Falta de informação sobre o fenômeno observado.</li> <li>ü A incerteza ocorre quando uma variedade não conhecida ou mal resolvida ocorre de forma imprevisível.</li> <li>ü Está relacionada à dimensão energética.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>ü O sistema tem um comportamento não previsível ao longo do tempo.</li> <li>ü Não se conhece quando tal estado, decorrente de uma variedade qualquer, venha a ocorrer.</li> <li>ü Está relacionada à dimensão temporal.</li> </ul> |

Tabela 04: Aspectos gerais de cada elemento de um sistema complexo que se inter-relacionam. Fonte Iarozinski (2005).

| Variedade                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Incerteza                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Imprevisibilidade                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>ü Número de fornecedores</li> <li>ü Número de processos</li> <li>ü Número de operações por máquina</li> <li>ü Número de pessoas envolvidas</li> <li>ü Tamanho da organização</li> <li>ü Número de concorrentes</li> <li>ü Número de tipos a serem produzidos</li> <li>ü Número de processos envolvidos</li> <li>ü Número de equipamentos envolvidos</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>ü Desvios entre o planejamento do projeto e a execução</li> <li>ü Variações dimensionais</li> <li>ü Desconhecimento da tarefa</li> <li>ü Desconhecimento do processo</li> <li>ü A primeira ocorrência de um tipo nunca produzido</li> <li>ü A primeira produção de um item já produzido (troca de mão de obra)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>ü Quebra de máquina</li> <li>ü Logística</li> <li>ü Surgimento de gargalo</li> <li>ü Absenteísmo</li> <li>ü Comportamento das pessoas (moral, motivação)</li> <li>ü Alteração da tecnologia atual (estado da arte)</li> <li>ü Alteração do cenário econômico</li> <li>ü Quebra de equipamentos</li> <li>ü Falta de pessoal</li> <li>ü Oscilações de demanda em função da economia</li> <li>ü Surgimento de novas tecnologias.</li> </ul> |

Tabela 05 – Aspectos ligados à Engenharia da Produção. Fonte própria.

### 3.5 O Impacto da Complexidade na Gestão

O impacto da complexidade presente em sistemas de gestão deve ser analisado para o entendimento dos ambientes propostos. Podemos dividir esta complexidade em níveis de abrangência: iniciando por um foco mais amplo, denominado como complexidade sistêmica, passando por determinadas características inerentes a este sistema (estrutura, organização e a inteligência do sistema) até alcançar o indivíduo. Estas formas de impacto serão analisadas a seguir.

#### 3.5.1 A Complexidade do Sistema

Um sistema complexo é de difícil controle, visto o elevado número de variáveis que o compõe. Mas por outro lado, sabemos que o controle em sistemas de produção é necessário, pois permite poder avaliar as condições atuais do mesmo. A estabilidade temporária de um sistema complexo é uma condição existente, fruto muitas vezes de situações caóticas devidamente resolvidas que levaram a um crescimento do todo. Este crescimento pode ser entendido como evolução do sistema, aqui remontando mais uma vez o conceito de neguentropia. Agostinho (2003, p.21) afirma que nestas condições (no que alguns autores chamam de fronteira do caos) “o sistema se auto-organiza a partir da condição de não equilíbrio, no sentido de que o comportamento resultante não é determinado por alguma força externa, mas emerge da própria dinâmica

do sistema.” Para Nicolis e Prigogine *apud* Agostinho (2003), esta evolução, ou em outras situações regressão, ocorre devido a valores críticos e a momentos críticos. A mudança do comportamento do sistema ou até mesmo de sua estrutura acontece nestes pontos de bifurcação, ou seja, são tentativas de se ajustar às novas condições geradas por perturbações internas ou externas.

Por outro lado um sistema complexo carece de autonomia. As tomadas de decisão devem ocorrer muitas vezes desvinculadas de procedimentos pré-concebidos. A espera por uma aprovação via meios burocráticos pode incorrer em perda de oportunidade, uma vez que em um sistema complexo as oportunidades ocorrem no momento conhecido como “a fronteira do caos”, Gleiser (1999). O autor explica que “Caos não é complexidade. Fenômenos complexos ocorrem precisamente no ponto crítico onde a transição para o caos acontece. Um sistema em estado complexo está no limiar do caos.” (GLEISER,1999, p.55).

Isso ocorre na borda entre um comportamento periódico previsível e o comportamento caótico, que pode ser determinístico ou não, dependendo do sistema. Podemos afirmar que é na fronteira do caos onde ocorre a maior demanda de criatividade, flexibilidade e, por conseguinte, autonomia. Outro ponto importante a ser relacionado é de que, quanto maiores forem os enfrentamentos com a fronteira do caos, maiores serão as chances do sistema crescer e aumentar sua inteligência. Em um sistema complexo o controle e a autonomia devem estar em equilíbrio, a autonomia deve retroalimentar o controle, no sentido de provocar o crescimento do sistema.

Podemos imaginar, então, o seguinte cenário: como agir diante de uma situação considerada complexa? Autores como Agostinho (2003), Gleiser (2002), Bauer (1999) tratam do assunto recorrendo a Holland (1996) e sua teoria sobre os blocos de

construção (*building blocks*). O conhecimento do indivíduo permite uma avaliação de uma nova situação baseada em partes que ainda não foram unidas para este fim. Essa união será a responsável pela criação de um novo modelo.

Para Agostinho (2003, p.90) “um modelo só pode ser útil se houver algum tipo de repetição das situações modeladas. Embora dificilmente uma situação venha a repetir-se exatamente, o mesmo não ocorre com partes dela.” O conhecimento sobre um determinado assunto, que originalmente ocorreu na “fronteira do caos”, pode tornar algo, inicialmente reconhecido como complexo, complicado e, finalmente, se transformar em algo considerado simples. Nesta situação até mesmo paradigmas determinísticos podem ser utilizados, visto a simplicidade atingida. Esta posição que um determinado elemento alcança aproxima de forma contundente duas situações poucas vezes percebidas: a comoditização (que sofrem determinados produtos) com o conceito da entropia.

### 3.5.2 Estrutura, Organização e Inteligência dos Sistemas

Segundo Iarozinski (1998), a dinâmica de um sistema complexo pode também ser avaliada analisando três fatores distintos: sua estrutura, sua organização e sua inteligência. A estrutura está composta nesta forma dinâmica pelas equipes semi-autônomas de trabalho, pela inter-relação destas equipes com os níveis hierárquicos mais elevados (que também fazem parte de uma estrutura), ou por qualquer outro tipo de inter-relação. A figura 07 mostra como ocorre esta distribuição.



A Estrutura está relacionada com os processos padronizados necessários à execução das tarefas, o entendimento das regras de conduta e disciplinares e também com a legislação. Também faz parte da estrutura todo o arsenal necessário à transformação de matérias primas em produto, ou informações e insumos em serviços. Esta lista é formada pelas máquinas e equipamentos, estrutura administrativa, logística, entre outras.

A Inteligência está relacionada a ações internas que ocorrem de forma espontânea e que produzem ações eficazes (o exemplo do sistema Kanban ilustra esta situação). A adoção de procedimentos organizacionais, que apesar de serem limitados no momento de tomada de decisão, elevam a capacidade de resolução de problemas repetitivos. A inteligência também exprime a capacidade individual de resolução de problemas, que no caso da percepção de um sistema complexo torna-se um importante critério. A variedade à qual os elementos de um sistema estão expostos eleva ainda mais a inteligência do sistema.

Os aspectos ligados à Organização podem ser interpretados como sendo burocráticos. O fato é que parte deles possuem uma rigidez necessária à manutenção da ordem, como por exemplo, a determinação formal de Normas de Conduta dentro da organização e o cumprimento à legislação em vigor. A dinâmica necessária à manutenção e à evolução do sistema estará fortemente atrelada à contínua alteração, com vistas à melhoria contínua dos procedimentos operacionais.

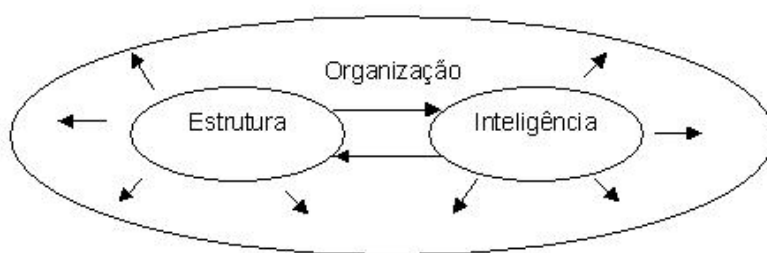


Figura 07 - Visão de um sistema produtivo, segundo Iarozinski (2004).

A organização abarca todos estes elementos e dá a forma final para o sistema. As formas de manifestação de suas partes são detalhadas na bibliografia, adotando para isso as divisões propostas por Mintzberg (1995).

### 3.5.3 Complexidade do Indivíduo: Crescente Aprendizagem

A adoção de critérios reducionistas em sistemas de produção pode encontrar aplicações conforme foi citado na bibliografia. Em certos ambientes a rigidez com normas e procedimentos é fruto da elevada preocupação com tarefas que foram exaustivamente analisadas em relação a possíveis falhas do sistema. Inclui-se nesta relação operações militares, alguns procedimentos cirúrgicos, manutenção em aeronaves, usinas nucleares, entre outras. O outro extremo encontra sistemas onde a variedade é muito baixa, tornando possível a realização de rotinas na condução do oferecimento de bens e serviços. As redes americanas de lanches rápidos são os exemplos mais marcantes. Embora o sistema tenha conotação mecanicista, a complexidade inserida

neste meio também deve ser analisada, uma vez que o elemento humano encontra-se presente e atuante. Um fato determinante nesta relação é a condição própria do ser humano de se relacionar com o meio e aprender. Para D'Ambrósio (2000) o entendimento do fenômeno da interação humana está relacionado ao reconhecimento da essencialidade de três componentes absolutamente interdependentes: “o indivíduo, o outro e o ambiente, *habitat* natural das espécies vivas. Os três fatos, conjugados e indissolúveis, constituem o fenômeno vida.” Ver figura 08 abaixo:

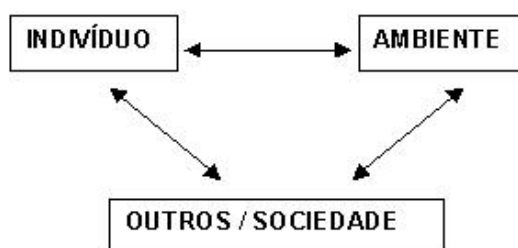


Figura 08: Avaliação do fenômeno da interação humana. Fonte D'Ambrósio (2000).

Esta constante relação não permite que o homem fique inerte ao que ocorre ao seu redor, desta forma está sempre aprendendo com o meio. Isso acontece de formas variadas, mas se deve considerar como fato que, apesar de que mesmo estando inserido em um ambiente estável, o aprendizado continua a ocorrer. Retornando a afirmação de Iarozinski (2004), podemos concluir que a variedade de informações, representada aqui pelo aprendizado, eleva o nível de complexidade do elemento humano. O aprendizado inquieta o homem, pois o torna questionador frente às alterações observadas.

Atualmente é evidente a acentuada velocidade nas alterações de fatores que contribuem com a mudança de paradigmas em sistemas produtivos e sociais. Podemos citar como exemplo numa planta de produção a alteração das tecnologias de processamento em voga, desejos dos clientes frente à diversidade de opções, novas necessidades dos *stakeholders*, novos sistemas de gerenciamento e de gestão e tendências econômicas. A sua ocorrência de forma ascendente indica crescimento e desenvolvimento, mas a permanência em um mesmo estado por muito tempo provoca a sua descendência, redução e, conseqüentemente, o seu desaparecimento. Novamente retornamos à Lei da Variedade Requerida que segundo Ashby *apud* Dias (1999, p.55) oferece uma medida da complexidade ao definir variedade como sendo “o número de itens (detalhes) ou o número de estados distinguíveis em um sistema.” Um sistema possuidor de um nível de conhecimento pode atender a variedade estipulada pelo sistema externo somente se ele próprio contiver todas estas informações, ou seja, em um sistema dinâmico a variedade interna deve ser tal que acompanhe os movimentos observados externamente. Voltemos por um momento às práticas mecanicistas: a variedade do sistema depende de procedimentos e práticas documentadas. A excessiva conjunção entre atos e tarefas pré-determinadas engessam o sistema, uma vez que ele só reage a estímulos quando encontra meio documentado para isso. O fato intrigante é que o elemento humano neste caso específico continua elevando seu nível de variedade, uma vez que é inevitável não construir opiniões frente a variações do sistema.

#### 4 PROPOSTA METODOLÓGICA PARA IDENTIFICAÇÃO DA COMPLEXIDADE DOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO

A proposta é a de um modelo para a identificação do grau de complexidade para que então sejam adotadas medidas de implantação eficientes. Este grau de complexidade não é representado por um valor numérico absoluto, mas por um valor perceptível através de uma escala com a significância relacionada a ser “mais” ou “menos” complexo. Larry Smarr *apud* McCarthy, Rakotobe-Joel e Frizzele (2002) afirma que assim como não existe uma forma única de definir a Complexidade, também se pode dizer o mesmo para uma forma de medição.

Após esta determinação são então avaliados os impactos desta “complexidade” no sistema para que seja facilitada a introdução de um SPE, bem como a realização de melhorias na gestão do sistema. Avaliar o grau de complexidade exige, em um primeiro momento, a identificação do maior número possível de variáveis. Estas variáveis dentro de uma estrutura complexa são bastante diversificadas e o sistema tem “inteligência” suficiente para, até mesmo, produzir novas variáveis. Esta característica leva o sistema a ter uma brevidade anunciada.

#### 4.1 Utilização do Conceito do FMEA como Ferramenta de Identificação da Complexidade

O FMEA é uma ferramenta de gerenciamento de risco que tem por objetivo identificar os possíveis modos de falhas de um dado produto/processo e suas respectivas causas, bem como os efeitos dessas sobre o cliente. Através de procedimentos apropriados, o FMEA permite atuar sobre tais itens de forma a reduzir e/ou eliminar a chance de tais falhas virem a ocorrer.

##### 4.1.1 FMEA: Conceituação Teórica

FMEA é a abreviação utilizada das palavras da língua inglesa *Failure Mode and Effect Analysis*, sendo que sua tradução para o português é Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos. Ohmdal *apud* Kmenta (1998, p.1) define FMEA como sendo “uma técnica de engenharia usada para definir, identificar e eliminar falhas conhecidas ou potenciais, problemas e erros de um sistema, projeto ou processo, antes que ele alcance o cliente.” Pereira (2001, p.1) afirma que o FMEA “é um método sistemático para identificar, analisar e documentar modos de falhas potenciais, suas causas e seus efeitos (consequências) no produto ou processo.” O autor segue enumerando os principais benefícios do FMEA:

- ü Reconhecer e avaliar falhas potencialmente possíveis de ocorrer no produto ou processo e suas consequências.

- ü Identificar ações que poderiam eliminar ou reduzir os riscos relacionados às falhas potenciais.
- ü Documentar de forma lógica estas informações de reconhecimento, avaliação e prevenção de falhas.

Palady (1997, p.5) considera o FMEA como sendo uma técnica que proporciona três funções distintas: ferramenta para o prognóstico de problemas, um procedimento para desenvolvimento e execução de projetos ou ainda um diário do projeto, processo ou serviço.

O FMEA é uma ferramenta que procura evitar que problemas ocorram durante a utilização do produto ou realização do processo. A magnitude das ações depende da aplicação: podemos fazer um FMEA de um simples copo plástico ou de um importante dispositivo de segurança utilizado em uma aeronave de combate. A verificação das possibilidades de falhas é algo que sempre acompanhou os projetos, desde a mais tenra idade. É claro que não havia um método padronizado e definido para a sua realização, mas a verificação de possíveis falhas conduzia o inventor ou pesquisador a tornar seu projeto mais seguro, menos susceptível a falhas.

O precursor da padronização do uso da FMEA foi o Exército Norte Americano, através da formalização do procedimento militar MIL-P-1629, cuja edição inicial ocorreu em 9 de novembro de 1949, intitulado *Procedures for Performing a Failure Mode, Effects and Criticality Analysis* (Military Standard, 1980). Eubanks, Kmenta e Ishii (1997, p.2) afirmam que as maiorias dos FMEA's aplicados atualmente ainda são baseados nesta norma militar. O FMEA desenvolve uma lista de modos de falha ordenados de acordo com os efeitos sentidos pelo usuário.

Segundo Moretti e Bigatto (2000, p.2) “o uso desta técnica estava associada na determinação dos efeitos das falhas de sistemas e equipamentos, classificados segundo o seu impacto sobre o sucesso da missão e sobre as condições de segurança envolvido.” A utilização da técnica começa a ser mais difundida a partir de 1960 e seu uso estende-se às indústrias e aos programas aeroespaciais americanos.

A Indústria automobilística americana começa a utilizar a técnica a partir da década de 80, sendo a sua precursora a *Ford Motor Company*. A Ford iniciou a utilização da FMEA após ter passado por uma das suas maiores decepções no projeto de um automóvel: o Ford *Pinto*. Chao e Ishii (2004, p.3) relatam que o episódio do Ford *Pinto* foi um dos maiores fracassos da indústria americana de automóveis. Projetado para competir diretamente com os carros japoneses, os quais apresentavam o conceito de carro compacto, o Ford *Pinto* foi a resposta da Empresa para a crise estabelecida. Devido a esta intensa competição, a Ford acelerou a produção de seu novo carro, comprimindo o tempo de desenvolvimento de três anos e meio para dois. Entre os anos de 1971 e 1978 o Ford *Pinto* foi o responsável por um grande número de mortes devido a incêndios em veículos. Existia um sério problema na localização do tanque de combustível que facilmente incendiava após uma colisão traseira.

No final da década de 80 as empresas *Chrysler Corporation*, *Ford Motor Company* e *General Motors Corporation* desenvolveram a Norma QS 9000, na qual foi incluída o FMEA como sendo uma das ferramentas utilizadas para o planejamento da qualidade no projeto e fabricação de novos produtos. Segundo Moretti e Bigatto (2000) em fevereiro de 1993, a AIAG (*Automotive Industry Action Group*) e a ASQC (*American Society for Quality Control*) patentearam os padrões relacionados ao FMEA, criando um



manual. O mesmo vale para a SAE (*Society of Automotive Engineers*) detentora do procedimento SAE J-1739 que trata do FMEA.

A utilização da FMEA como ferramenta na prevenção de falhas segue uma cronologia de levantamento de dados e a utilização de tabelas para a pontuação de três importantes fatores: ocorrência da falha, sua severidade e a possibilidade de detecção. O FMEA é constituído pelas seguintes fases:

1. Identificação da função dos componentes: identificar cada componente do sistema e qual a sua função; realizar se necessário a decomposição do produto em funções. A utilização da regra “verbo + substantivo” é condição *sine qua non* para a sua eficácia. Por exemplo, a função de uma resistência elétrica em um chuveiro é a de “esquentar água”. A decomposição dos produtos em funções leva à identificação isolada de cada parte componente do produto. A identificação de funções pode, em conjunto com outros tipos de ferramentas (Desdobramento da Função Qualidade – QFD, poderia ser uma delas), reavaliar se estas funções são necessárias e se o cliente está interessado em adquirí-las. Funções não necessárias podem elevar o preço do produto ou elevar o risco na sua aplicação.
2. Descrição dos modos de falha: esta etapa procura identificar como as funções dos componentes ou do sistema podem deixar de alcançar as características de desempenho especificadas. Segundo Palady (1997, p.55) modo de falha “é o evento ou situação que leva a uma diminuição parcial ou total do desempenho de uma função.” Segundo o autor, modo de falha pode ser considerado como sendo o negativo da função dos componentes ou do sistema. Kmenta e Ishii (2000, p.2) afirmam que um modo de falha é essencialmente uma cadeia indesejável de causa e efeitos. Uma vez que o time de desenvolvimento foi identificado

e priorizado os modos de falha, tomam-se as decisões de projeto, elevando o grau de confiabilidade, qualidade e segurança.

3. Causa da falha: a identificação da causa da falha busca encontrar como uma anormalidade ou deficiência que pode culminar com uma situação indesejável de mau funcionamento ou parada.
4. Possíveis efeitos de falhas: nesta etapa busca-se analisar os possíveis efeitos de cada falha identificada e como estes afetam o desempenho do sistema. A análise dos efeitos deve ser abrangente, analisando o ataque de cada elemento e a sua respectiva relação com o sistema.
5. Probabilidade de ocorrência (O): pode ser analisada de forma quantitativa ou qualitativa. O índice quantitativo busca em dados estatísticos um valor que melhor expresse a sua probabilidade de ocorrência. Quando os dados não existem ou são inconsistentes podem ser utilizadas tabelas qualitativas, neste caso prevalecendo a experiência do time envolvido com a FMEA. Segundo Kmenta e Ishii (2000, p.2) a ocorrência está relacionada com a probabilidade de uma causa ocorrer e resultar em um modo de falha.
6. Severidade da falha (S): a pergunta chave para a determinação da severidade é procurar entender qual será o efeito sentido pelo cliente se a falha venha a ocorrer. A resposta deve ser confrontada com tabelas pré-definidas, onde novamente a experiência da equipe envolvida com o FMEA deverá encontrar a melhor relação. Trata-se de uma avaliação predominantemente qualitativa.
7. Probabilidade de detecção (D): segundo Kmenta e Ishii (2000, p.2) a definição para a detecção depende do escopo da análise. Podem ocorrer nas seguintes categorias: a detecção ocorrendo no projeto e no planejamento, durante o pro-

cesso de manufatura ou durante a operação. Novamente existem tabelas desenvolvidas por diversos autores para facilitar a identificação dos diversos graus de detecção. A pergunta chave para avaliar a detecção é: qual a chance de se detectar o problema antes que uma falha catastrófica venha a ocorrer (detecção pelo cliente)? Ou, qual a chance de se detectar um problema antes que o produto ou serviço chegue nas mãos do cliente (detecção dentro da própria instituição)?

8. Possíveis ações corretivas ou medidas preventivas: após as avaliações acima descritas, suficientes dados já foram analisados e torna-se possível então propor medidas de contenção ou medidas preventivas. Esta etapa é conhecida como Fase de Recomendações (Palady, 1997, p.85). As recomendações podem ser analisadas sob o foco de análises do tipo “custo versus benefícios”, período de garantia, responsabilidade civil ou relacionadas a sistema da qualidade.

Segundo Moretti e Bigatto (2000, p.2) “todas as informações e dados levantados são então reunidos em um documento, na forma de uma tabela, que permite a rápida compreensão e avaliação dos resultados obtidos.” O autor explica que “existem duas formas de se analisar os resultados obtidos, uma tradicional, através do número de prioridade de risco (NPR) e outra mais visual e preventiva.” (MORETTI e BIGATTO, 2000, p.2).

#### 4.1.1.1 Pontuação para Ocorrência, Severidade e Detecção

O propósito do FMEA é priorizar potenciais de falha de acordo com seus riscos. Segundo Kmenta e Ishii (2000, p.3), risco no caso de uma análise de potenciais de falha, pode ser definido como:

- ü A possibilidade de ocorrer um dano.
- ü A possibilidade de perda ou injúria.
- ü Exposição para a possibilidade de injúria ou perda.

As definições de risco contêm dois elementos básicos: a chance de ocorrer e as consequências se ocorrer. Desta forma, os indicadores OSD (ocorrência, severidade e detecção) são determinados no intuito de se apresentar um determinado valor que traduzirá a probabilidade de risco. O resultado desta pontuação leva ao que se chama de RPN (*risk priority number*) ou GPR (grau de prioridade de risco) definido pela multiplicação dos três índices:

$$\text{GPR (RPN)} = \text{O} \times \text{S} \times \text{D} \quad (1)$$

Conhecida as informações relacionadas ao produto ou serviço, realiza-se a determinação do impacto de uma dada falha sobre o cliente, da probabilidade de uma determinada causa e/ou modo de falha ocorrer e da possibilidade de se detectar o modo de falha e/ou a causa antes que o problema atinja o cliente.

A tabela 06 abaixo mostra como pontuar a ocorrência em função de históricos de falhas ocorridos com projetos anteriores ou relacionados com aqueles que se

procuram estudar. A avaliação é nitidamente quantitativa, sendo, portanto necessária a avaliação da consistência dos dados e tamanho da validação da amostra relacionada.

| Probabilidade de Falha                  | Taxas de Falha    | Ocorrência |
|-----------------------------------------|-------------------|------------|
| Muito alta: a falha é quase inevitável. | $\geq 1$ a cada 2 | 10         |
|                                         | 1 a cada 3        | 9          |
| Alta: falhas repetidas.                 | 1 a cada 8        | 8          |
|                                         | 1 a cada 20       | 7          |
| Moderado: falhas ocasionais.            | 1 a cada 80       | 6          |
|                                         | 1 a cada 400      | 5          |
|                                         | 1 a cada 2000     | 4          |
| Baixo: relativamente poucas falhas.     | 1 a cada 15000    | 3          |
|                                         | 1 a cada 150000   | 2          |
| Remota: a falha é improvável.           | 1 a cada 1500000  | 1          |

Tabela 06: Pontuação para a ocorrência. Fonte Kmenta e Ishii (2000).

Da mesma forma que existe uma tabela para a determinação do grau de ocorrência, prepararam-se tabelas para a determinação da severidade e da probabilidade de detecção. A tabela para a severidade (tabela 07, a seguir) deve ser tal que proporcione ao analista uma dimensão correta para a medição da gravidade do efeito sobre o modo de falha. As categorias de análise são estimadas em escalas que vão normalmente de 1 até 10, por exemplo:

| Gravidade do efeito        | Critério: Severidade do efeito                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Classificação |
|----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| Muito alta sem advertência | Representa perigo para a máquina e/ou para o operador. O modo de falha potencial afeta a segurança do produto e/ou envolve não conformidades com possíveis regulamentações governamentais. A falha ocorrerá sem advertência                                                                                                                                                                                                           | 10            |
| Muito alta com advertência | Representa perigo para a máquina e/ou para o operador. O modo de falha potencial afeta a segurança do produto e/ou envolve não conformidades com possíveis regulamentações governamentais. A falha ocorrerá com advertência                                                                                                                                                                                                           | 9             |
| Alta                       | Quando o efeito da falha acarreta grande insatisfação do cliente, tal como inoperância do produto (ex.: motor não pega na partida) ou a inoperância de um subsistema de conforto (ex.: ar condicionado, teto solar). Não envolve segurança do produto ou não conformidade com legislação / regulamentações governamentais. Parada de linha na produção, 100% dos produtos refugados.                                                  | 8             |
| Alta                       | Pequena parada de linha na produção. O produto deve ser selecionado e uma porcentagem refugada (menor do que 100%). O produto funciona, mas com nível de performance reduzido. Cliente insatisfeito                                                                                                                                                                                                                                   | 9             |
| Moderada                   | Quando a falha acarreta alguma insatisfação no cliente (ex.: vazamento pelo teto solar, barulho do ar condicionado, etc.). O cliente notará alguma perda de desempenho de algum subsistema ou do produto. Pequena parada de linha na produção. Uma porcentagem (menor do que 100%) das peças deve ser refugada (sem seleção). O produto funciona, mas algum item de comodidade / conforto não funciona. Cliente passa por desconforto | 6             |
| Baixa                      | Pequena parada de linha na produção, 100% dos produtos devem ser trabalhados. O produto funciona, mas algum item de comodidade / conforto funciona com nível de performance reduzido. O cliente passa por algum desconforto                                                                                                                                                                                                           | 5             |
| Muito baixa                | Quando a falha causar pequena apreensão no cliente. O cliente provavelmente perceberá apenas uma leve perda de desempenho de sistema ou do produto. Pequena parada de linha na produção. O produto deve ser selecionado e uma porcentagem (menor do que 100%) retrabalhada. Níveis de ruído não conformes. Defeito notado pela maioria dos clientes                                                                                   | 4             |
| Praticamente desprezível   | Pequena parada de linha na produção. Uma porcentagem (menor do que 100%) das peças deve ser retrabalhada imediatamente, mas fora da linha. Níveis de ruído não conformes. Defeito notado por vários clientes                                                                                                                                                                                                                          | 3             |
| Desprezível                | Pequena parada de linha na produção. Uma porcentagem (menor do que 100%) das peças deve ser retrabalhada imediatamente na linha. Níveis de ruído não conformes. Defeito notado por clientes exigentes. Pouca possibilidade de que esta falha cause algum efeito no desempenho do produto ou do sistema. A maioria dos clientes não perceberá a falha.                                                                                 | 2             |
| Nenhuma                    | Efeito inexistente                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 1             |

Tabela 07: Pontuação para severidade. Fonte: *Potential Failure mode and effects analysis* (FMEA) Chrysler (1995).

No caso da detecção, a tabela 08 exemplifica um conteúdo usual:

| Detecção                        | Critério                                                                                                                                                | Classificação |
|---------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| Certeza Absoluta de Não-deteção | Os controles não poderão/irão detectar um mecanismo/causa potencial de falha (deficiência do processo), ou não há controles.                            | 10            |
| Muito baixa                     | Os controles dificilmente irão detectar a existência de um mecanismo/causa potencial de falha (deficiência do processo).                                | 9             |
| Baixa                           | Os controles têm poucas chances de detectar a existência de um mecanismo/causa potencial de falha (deficiência do processo).                            | 8-7           |
| Moderada                        | Os controles poderão detectar a existência de um mecanismo/causa potencial de falha (deficiência do processo).                                          | 6-5           |
| Alta                            | Os controles têm grande chance de detectar um mecanismo/causa potencial de falha (deficiência do processo). O processo automaticamente detecta a falha. | 4-3           |
| Muito Alta                      | Os controles certamente irão detectar a existência de um mecanismo/causa potencial de falha (deficiência do processo).                                  | 2-1           |

Tabela 08: Pontuação para a detecção. Fonte: *Potential Failure mode and effects analysis* (FMEA) Chrysler (1995).

A utilização do FMEA é uma prática bastante comum em sistemas de qualidade, sendo considerado como obrigatório em Sistema de Gestão da Qualidade como o TS 16949 e o VDA 6.1 (Verbrant *del Automobil*). Os benefícios de sua utilização estão fundamentados na prevenção, na pré-análise, no planejamento antecipado, na multidisciplinaridade e na padronização através da formalização de detalhes construtivos e de sistemas que fazem parte de um projeto ou processo. Palady (1997) considera o FMEA uma técnica proativa e altamente subjetiva. Segundo ele “o FMEA é altamente subjetivo e requer um trabalho considerável de suposição em relação às possibilidades e à sua prevenção.” (PALADY, 1997, p.6).

Alguns autores como Hata *et al* (2001), Kmenta e Ishii (1998), Eubanks, Kmenta e Ishii (1997) tecem críticas em relação a esta subjetividade, considerando-a como perigosa no momento da tomada de decisão e pouco produtiva em relação ao verdadeiro desempenho do produto montado e seu tempo de vida. Kmenta e Ishii (1998) e Eubanks, Kmenta e Ishii (1997) apresentam o FMEA avançado (AFMEA) como ferramenta de simulação para análise de comportamento. Esta análise utiliza simuladores via computador para evitar o uso de questões puramente subjetivas no tratamento da análise de falhas. Hata *et al* (2001) aponta para o que ele chama de “pontos fracos” na análise tipo *bottom up* utilizada nos tradicionais FMEA's. O autor sugere também a utilização de simuladores de projetos, como por exemplo recursos atuais de CAD, CAE e CAM. Embora a análise isolada de cada função pareça ser uma atitude determinística, uma vez que se prega a análise detalhada de cada uma das partes de que são formados os processos ou os produtos, isso só ocorre num primeiro momento. Esta possibilidade é descartada quando se inicia a etapa de avaliação dos efeitos dos possíveis

modos de falha. Neste momento o processo retorna a sua condição de análise sistêmica.

Existe uma forte relação entre os resultados obtidos em um FMEA com o que se conhece por projeto robusto, ou seja um projeto onde todas as possibilidades de falha forma analisadas e medidas de contenção foram adotadas. A eficácia de um projeto robusta está relacionada com o tempo de vida do produto. A concessão de longos períodos de garantia são resultados deste tipo de projeto, desvinculando prazos de garantia das estratégias de marketing associadas.

A utilização da metodologia empregada no FMEA como método de avaliação do ambiente complexo permite uma comparação com uma escala baseada na incerteza do sistema, na sua imprevisibilidade e na variedade, conceitos estes definidos por Iarozinski (2004) como sendo característicos de sistemas complexos. No método é bastante clara a utilização de propriedades subjetivas para a realização das análises, sendo esta subjetividade baseada na competência das pessoas envolvidas com o processo. Não se pode esquecer da premissa de que uma equipe responsável pela realização de um FMEA deve ser de preferência multidisciplinar, esta condição é fundamental para ter sucesso no seu desempenho.

Podemos considerar que o conhecimento do grupo, assim como sugerem os autores Agostinho (2003) e Scott, Johnson e Frizelle (2002), é o elemento responsável pela construção de um novo paradigma com vistas à determinação de novas situações sobre o problema escolhido. A mesma inteligência de equipe que faz do FMEA uma importante ferramenta preventiva, pode ser utilizada para a determinação dos graus de complexidade de sistemas. A utilização do conceito do FMEA para a complexidade será exemplificado no item 4.4, mais adiante.



#### 4.2 O conceito do QFD Relacionando a Complexidade e os Elementos Operacionais de um SPE

Segundo Akao (1997, p.1), o QFD <sup>12</sup> (*Quality Function Deployment*) foi desenvolvido no Japão no final dos anos 60, durante o período que as indústrias Japonesas mudaram a forma de produzir. O que era baseado na cópia ou imitação começou a ter um enfoque baseado na melhoria e na originalidade. O QFD nasceu neste ambiente, com a proposta de ser um método utilizado no desenvolvimento de novos produtos, realizado sob a luz dos conceitos da qualidade total. É óbvio neste conceito o “Foco no Cliente”, ou seja, o perfeito entendimento de todas as suas necessidades e especificações. Segundo Guazzi (1999, p.90) “O QFD é a melhor metodologia para traduzir a voz do cliente (subjetiva) em requisitos mensuráveis (objetivos) e que permeiarão e orientarão todas as fases do processo de desenvolvimento de produtos e serviços garantindo a satisfação do cliente.”

Nos Estados Unidos, o QFD só começou a ser aplicado em meados da década de 80, quando uma delegação japonesa chefiada pelo professor e consultor Kaoru Ishikawa levou-o para a Ford. Na sequência, foi o professor Yoji Akao quem conduziu um seminário em Chicago para os empresários, principalmente do setor automobilístico. Em 1983, a revista *Quality Progress* publicou um artigo vinculando o QFD à Gestão da Qualidade Total (TQC). Os americanos perceberam que os fabricantes japoneses de automóveis estavam conseguindo captar a voz dos seus clientes, fazendo com que as suas preferências chegassem rapidamente até aos processos de engenha-

---

<sup>12</sup> No Brasil, a sigla QFD foi traduzida para Desdobramento da Função Qualidade.

ria e manufatura. Segundo Katz (2001) o americano Bob King foi creditado como sendo o primeiro a escrever um livro em Inglês sobre o QFD, cujo título foi *Better Products in Half the Time*. Isso ocorreu em 1987. John Hauser e Don Clausing, ambos do MIT, popularizaram o QFD após publicarem em 1988 um artigo na *Harvard Business Review*, cujo nome era “A Casa da Qualidade”.

Segundo afirma Akao (1996), após a Segunda Grande Guerra, o Controle Estatístico da Qualidade foi introduzido no Japão e transformou-se na atividade central da qualidade, inicialmente na área da manufatura. Mais tarde ela foi integrada com os ensinamentos do Dr. Juran, que durante sua visita ao Japão em 1954 enfatizou a importância de se realizar o Controle da Qualidade como parte do gerenciamento dos negócios. O que o autor procurava era a conscientização por parte de toda a estrutura organizacional de que a qualidade final dos produtos e serviços dependia de todos os envolvidos. Iniciando pelos postos hierarquicamente mais elevados avançando em direção aos mais simples. Guazzi (1999) considera isso como sendo a evolução do controle da qualidade (qualidade reativa) para a garantia da qualidade (qualidade ativa), buscando incorporar ao produto ou serviço a qualidade que os clientes desejam em todas as fases de desenvolvimento.

Esta evolução foi fortificada também pela publicação em 1961 do TQC (*Total Quality Control*), pelo Dr. Feigenbauer. Como resultado, a qualidade focada no produto se transformou em Controle da Qualidade Total no Japão, durante o período de 1960 e 1965. Foi durante este período que Akao apresentou pela primeira vez os conceitos e o método do QFD. A indústria japonesa estava no meio de um grande crescimento, permeado por um imenso desenvolvimento de novos produtos e revitalização de

modelos antigos. Akao (1997, p.1) se baseou em duas situações para propor o primeiro modelo de QFD:

- ü as pessoas começavam a reconhecer a importância da qualidade do projeto. A forma de como isso poderia ser feito não era encontrada na tecnologia da época, e
- ü as companhias já tinham começado a utilizar cartas para controle estatístico dos processos, mas estas cartas eram produzidas após a etapa de desenvolvimento do produto.

A autenticidade oriental do sistema pode ser verificada se analisarmos a própria morfologia da palavra. O nome *Quality Function Deployment* é uma tradução literal das palavras japonesas *HINSHITSU – KINO –TENKAI*. A figura 09 a seguir mostra este significado traduzido para língua portuguesa:

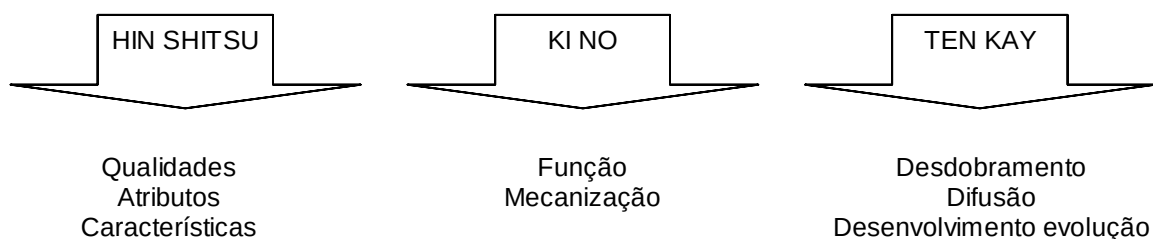


Figura 09: significado da sigla QFD. Fonte: Guazzi (1999)

O QFD reformula os conceitos tradicionais para a transformação de necessidades em produtos ou serviços. Existe uma clara ruptura em relação aos paradigmas existentes, criando o que Guazzi (1999, p.108) chama de “um terreno fértil para o conceito de *learning organization* (organizações que aprendem)” rompendo, segundo o autor, com o raciocínio tradicional de resposta direta aos problemas que o ambiente

traz. Esta quebra cria um raciocínio superior que busca a geração de idéias inovadoras capazes de colocar a empresa à frente de seu mercado. Os principais conceitos formadores de sua base são:

- ü Perguntar: busca-se saber o que os clientes querem, através do que Katz (2001, p.1) chama de *"The Voice of Customer"* (a voz do cliente), isto é, entender como os clientes definem suas necessidades e percebem os produtos ou serviços.
- ü Utilizar: após ter "ouvido" o que a voz do cliente tem a dizer, uma equipe com características multifuncionais traduz estas necessidades e as transforma em itens mensuráveis. No entanto, como afirma Fiates (1995, p.45) "há uma dificuldade em traduzir para o planejamento dos serviços os desejos dos consumidores tais como: café gostoso, ambiente agradável, serviço cortês, etc." Como forma de transformar subjetividade em objetividade, "a metodologia QFD possui a característica de captar estas necessidades, expectativas e desejos do consumidor e traduzi-las para todos os processos da organização, de forma a garantir a qualidade requerida pelo cliente em cada etapa do processo." (FIATES,1995, p.50). Podemos afirmar então que o QFD "traduz as necessidades dos clientes em requisitos técnicos apropriados, permitindo a introdução dos desejos nos produtos e serviços. É uma ferramenta que possibilita colocar os clientes numa posição de destaque." (GUAZZI, 1999, p.109).
- ü Priorizar: a idéia aqui é a de concentrar esforços nas características mensuráveis, para que a voz do cliente seja preservada por todas as fases do desenvolvimento. Entende-se por desenvolvimento a concepção do projeto até a sua entrega para o cliente.

- ü Permitir: Guazzi (1999, p.108) entende que a área de marketing deve “gerenciar as expectativas do cliente e as ações dos concorrentes de tal forma que o produto ou serviço possa ser lucrativo por todo o seu ciclo de vida através da inovação constante.”

#### 4.2.1 A Matriz da Qualidade:

Segundo Takayanagi *apud* Akao (1996, p.43) a Matriz da Qualidade “é uma sistematização das qualidades verdadeiras (exigidas pelo cliente), considerando principalmente as funções, e expressa a relação existente entre estas funções e as características da qualidade, que são características substitutivas.” A matriz da qualidade é também chamada de “A Casa da Qualidade” (figura 10, a seguir) devido ao fato da representação da tabela requisitos do cliente, interagindo com a tabela características da qualidade, assemelha-se geometricamente com o formato de uma casa. Como já visto, o termo “casa da qualidade” foi cunhado por Clausing e Hauser, em 1988. Todas as abordagens do QFD iniciam com a construção desta matriz, sendo que a sua forma construtiva é facilmente identificada entre os seus usuários.

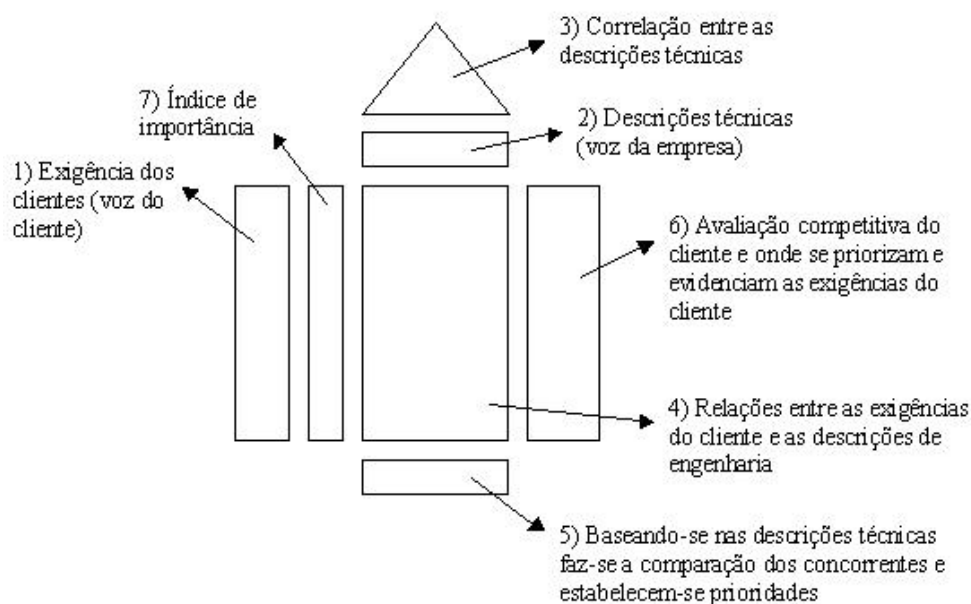


Figura 10 – A Casa da Qualidade. Adaptado de Akao 1996.

São os seguintes os componentes da Casa da Qualidade ou matriz da qualidade:

1. Exigências do cliente (a voz do cliente): são o que Peixoto (1998, p.35) chama de “expressões lingüísticas dos clientes” e Akao (1996, p.44) de “Qualidade Exigida”, características estas que devem ser transformadas em valor agregado ao produto ou serviço. As formas de captação podem ser através de pesquisa de mercado ou através de citação direta do cliente. A Norma ISO9000: 2000 alerta para o fato de que muitas vezes a voz do cliente deve ser completada com o que ela chama de “necessidades implícitas, governamentais e as próprias da organização”, ABNT (2000). Normalmente a solicitação do cliente surge de forma subjetiva, levando ao analista da situação fazer o que Akao (1996, p.45) chama de

divisão por níveis. Esta divisão (ou desdobramento) ocorre até que a solicitação do cliente se transforme em algum tipo de variável mensurável.

2. Descrição técnica (a voz da Empresa): a voz da empresa é a representação das características da qualidade. As características da qualidade são os itens que devem ser medidos no produto para verificar se a qualidade exigida está sendo cumprida.
3. Correlação entre as descrições técnicas: é o teto da casa da qualidade. Segundo Peixoto (1998, p.42) esta matriz “cruza as características de qualidade entre si, sempre duas a duas, permitindo identificar como elas se relacionam.” Estas relações são julgadas em relação a suas características: elas podem ser de apoio mútuo ou de conflito.
4. Relações entre as exigências do cliente e descrições de engenharia: também chamada de matriz de relações é quem realiza a intersecção entre os requisitos do cliente com a tabela das características da qualidade. A sua principal função é a de permitir a identificação de como e quanto cada característica da qualidade influencia no atendimento de cada requisito do cliente.
5. Comparações entre os concorrentes e definição de prioridades: segundo Akao (1996) a função desta etapa é a de traduzir a “voz do cliente” para a “voz dos engenheiros”, ou seja, transformar os requisitos em características de projeto que sejam capazes de compor um *hardware* e estabelecer a qualidade projetada. Para Peixoto (1998, p.34) as características da qualidade “são os requisitos do cliente (ou qualidades verdadeiras) transformadas em características do projeto (características substitutas)”. Estas características devem ser mensuráveis.

6. Avaliação competitiva do cliente: trata-se de uma pesquisa de mercado do tipo quantitativa que busca identificar como os clientes percebem o produto atual, comparando-o com seus principais concorrentes. O resultado é uma mensuração em relação ao produto atual e o desejado pelo cliente, a qual servirá de base para o incremento de funções ou até mesmo a retirada de outras.
7. Índice de importância: Kano *apud* Bolt e Mazur (1999, p.5) apresenta três possibilidades de satisfação das necessidades do cliente: “requisitos revelados, requisitos esperados e os requisitos excitantes.” Segundo Bolt e Mazur (1999, p.3), os requisitos revelados são “aqueles descobertos após o questionamento junto ao cliente, ou seja, é aquilo que o cliente deseja receber.” E ainda, “os requisitos esperados são tão óbvios que o cliente muitas vezes até se esquece de mencionar, embora que quando dá pela sua falta, torna-se o principal alvo de uma reclamação.” O autor segue afirmando que “os requisitos excitantes são os mais difíceis de se descobrir. Eles estão além das expectativas do cliente, segundo sua falta não é percebida, mas a sua presença excita o cliente.” (BOLT e MAZUR, 1999, p.3). Aqui se faz necessário despertar a atenção do cliente sobre as novas possibilidades a serem fornecidas, com a óbvia aprovação dele. A terceira identificação versa sobre as necessidades futuras.



#### 4.2.2 Abordagens para o QFD:

Conforme sustenta Eureka e Ryan (1993, p.15) “o QFD é um sistema que traduz as necessidades do cliente em requisitos apropriados para a empresa, em cada estágio do ciclo de desenvolvimento do produto”, ou seja, desde a percepção da necessidade até a sua distribuição. O modelo inicial proposto por Yoji Akao encontrou algumas limitações quando o sistema foi aplicado em situações diferentes das iniciais, levando a alguns autores a realizar adaptações no modelo original. Estas adaptações não mudaram o conceito inicial, mas sim permitiram sua aplicação em áreas diferentes daquelas inicialmente utilizadas. Segundo Peixoto (1998, p.47) são as seguintes as abordagens adotadas atualmente:

- ü QFD das Quatro Fases ou de Makabe: criado por Makabe e divulgado nos EUA por Don Clausing e pela *American Supplier Institute (ASI)*,
- ü QFD Estendido: criado por Don Clausing a partir da versão das Quatro Fases,
- ü QFD das Quatro Ênfases: criado principalmente pelos Professores Akao e Mizuno, a partir da *Union of Japanese Scientists and Engineers (JUSE)*,
- ü a Matriz das Matrizes: criado por Bob King e divulgado pela Goal /QPC, que é uma extensão da versão das quatro ênfases.

A utilização do QFD é bem vinda por ser uma ferramenta que traduz questões subjetivas em características mensuráveis. A utilização do conceito do QFD para o modelo proposto ocorre no momento em que se identifica uma situação considerada complexa, a qual muitas vezes tem um tom subjetivo, até o momento que a rela-

ciona com um tipo específico de ferramenta no intuito de resolvê-la ou dominá-la. Outra questão importante em relação ao QFD é a possibilidade de desdobramento em níveis de entendimento e a relação destes níveis com ferramentas ou técnicas auxiliares. No caso deste trabalho, a metodologia do QFD permite a relação de situações julgadas como complexas com ferramentas próprias de um Sistema de Produção Enxuta.

#### 4.3 Modelo Geral

A figura 11 a seguir ilustra de forma esquemática as etapas necessárias para a adoção do modelo que permite a verificação do grau de complexidade de um sistema de produção. O objetivo final é a implantação de um Sistema de Produção Enxuta.

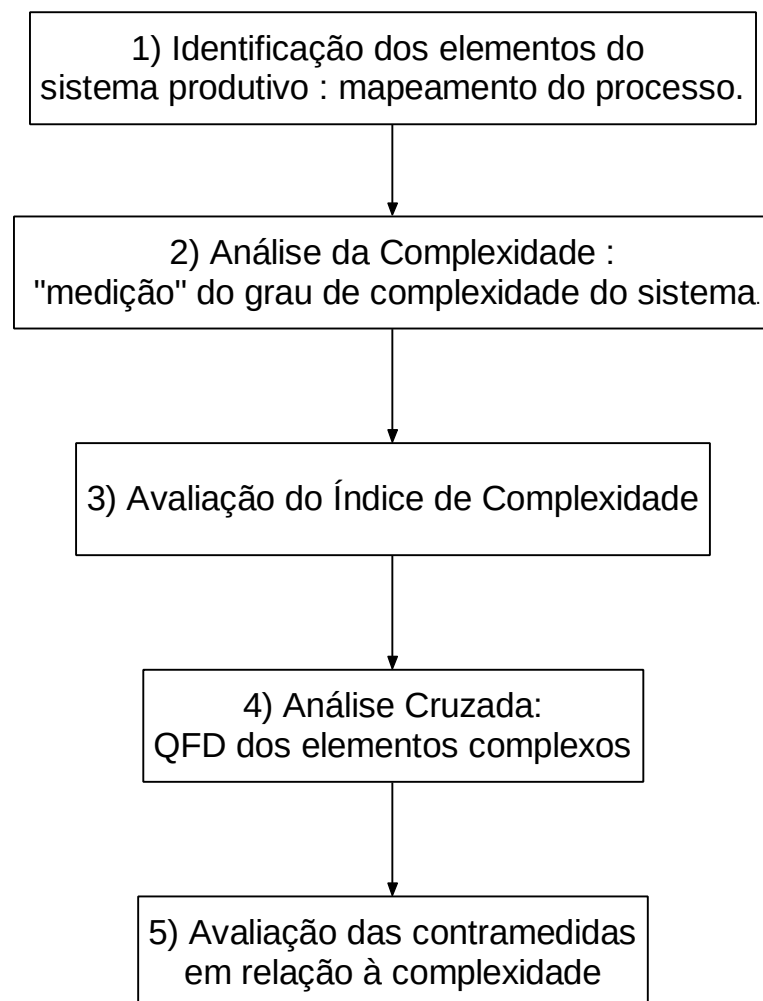


Figura 11: Representação esquemática do sistema. Fonte própria.

Quando iniciamos a observação de um sistema complexo, podemos afirmar que cada condição a ser analisada é função do momento, do paradigma atual. Por exemplo, o cumprimento de cada necessidade levantada por um cliente leva a uma avaliação das condições atuais por parte do indivíduo presente nesta análise. Cada solicitação realizada é precedida de uma análise: o fornecedor identifica uma necessidade, analisa o ambiente interno, analisa o ambiente externo, levanta dados, compara os dados e toma uma decisão.

As formas para o cumprimento destas necessidades, necessariamente passam por um sistema de avaliação, sendo que esta avaliação pode ocorrer tanto de maneira formal quanto de maneira informal. Organizações mais simples avaliam as necessidades de seus clientes de maneira informal e tomam as decisões necessárias para atendê-las. Organizações maiores geralmente utilizam sistemas padronizados de gestão, como por exemplo a ISO 9001:2000. Podemos considerar como necessárias ao atendimento dos requisitos do cliente o cumprimento das seguintes fases:

- ü Entender a voz do cliente.
- ü Avaliar a capacidade de atendimento das necessidades, traduzir a “voz do cliente” na “voz da engenharia”.
- ü Transformar a “voz da engenharia” em fluxos de processos, instruções de trabalho, folhas de processos e cartas de controle.
- ü Transformar estes procedimentos em produtos ou serviços.
- ü Medir a satisfação do cliente em relação ao objetivo alcançado.

No momento em que a voz do cliente é entendida e é avaliada a situação de fornecimento, o sistema está apto a iniciar a produção. Sob a ótica do cliente, o entendimento do SPE como um sistema favorável à produção baseia-se no fato de que se buscam três importantes objetivos: o atendimento das necessidades com agregação máxima de valor, redução dos custos operacionais e redução do *lead time*. O modelo proposto busca a realização dos objetivos próprios de um SPE quando imersos em um sistema complexo, desvinculando características culturais próprias da cultura oriental. Busca-se na verdade a ocidentalização no momento da implantação e utilização.

#### 4.4 Análise das Etapas do Modelo Proposto

Conforme mostrado anteriormente, a Figura 11 indica a seqüência necessária para a utilização do modelo de identificação da complexidade do sistema de produção. Cada passo deste modelo é mostrado detalhadamente a seguir.

##### 4.4.1 Etapa 01: Identificação dos elementos do sistema produtivo

Rother e Shook (1999) apresentam como premissa básica na implantação de um Sistema de Produção Enxuta o completo conhecimento de todos os estágios necessários ao atendimento de uma necessidade apontada por um cliente. Os autores chamam este processo de Mapeamento do Fluxo de Valor. Da mesma forma, a Norma ISO 9000:2000 (ABNT, 2000) também determina o uso de uma representação esquemática da interação de processos, com o objetivo de permitir ao observador o entendimento de todo o processo produtivo. Para Rother e Shook (1999, p.3) “um fluxo de valor é toda a ação (agregando valor ou não) necessária para trazer um produto por todos os fluxos essenciais a cada produto.” Além disso, consideram que “a perspectiva do fluxo de valor significa levar em conta o quadro mais amplo, não só os processos individuais; melhorar o todo, não só otimizar as partes.” (ROTHER e SHOOK, 1999, p.3). O trabalho proposto pelos autores persegue a completa avaliação de todas as etapas necessárias à satisfação do cliente, embora neste trabalho estaremos somente focando

as internas da organização: desde a solicitação do produto até a sua entrega aos responsáveis pela logística.

Para a realização do mapeamento do processo, é importante o conhecimento do maior número possível de variáveis envolvidas. Dentre estas variáveis podemos destacar: todas as etapas necessárias à realização de determinado produto (inclusive as burocráticas), as atividades componentes deste processo, seu seqüenciamento e inter-relacionamento, dados de entrada e saída (plano de controle, fichas de processo, situação de inspeção, etc.), matérias primas, materiais processados, operações já agregadas e informações sobre cada atividade específica (o que a atividade realiza).

Todas estas variáveis são reunidas e registradas através do preenchimento de uma tabela de processo. Esta tabela está dividida em duas etapas: a primeira respeita os requisitos burocráticos necessários ao atendimento das necessidades do cliente (neste caso, aqueles definidos pela Norma ISO 9001:2000), a segunda etapa descreve os processos produtivos necessários à realização do produto. Os requisitos necessários a Norma são importantes por definir as variáveis necessárias ao entendimento dos requisitos do cliente, os quais algumas vezes são subjetivos. A base metodológica para o preenchimento desta tabela é da Gestão por Processos, onde deve ser evidente o inter-relacionamento entre eles. Todas as etapas são precedidas do que chamamos de “dados de entrada para o processo” e “materiais de entrada”. O próximo passo é a própria definição do processo e então se chega à descrição dos “dados de saída do processo” e “materiais de saída” que na verdade são os resultados dos processamentos realizados a jusante. A Figura 12 ilustra um exemplo de aplicação.

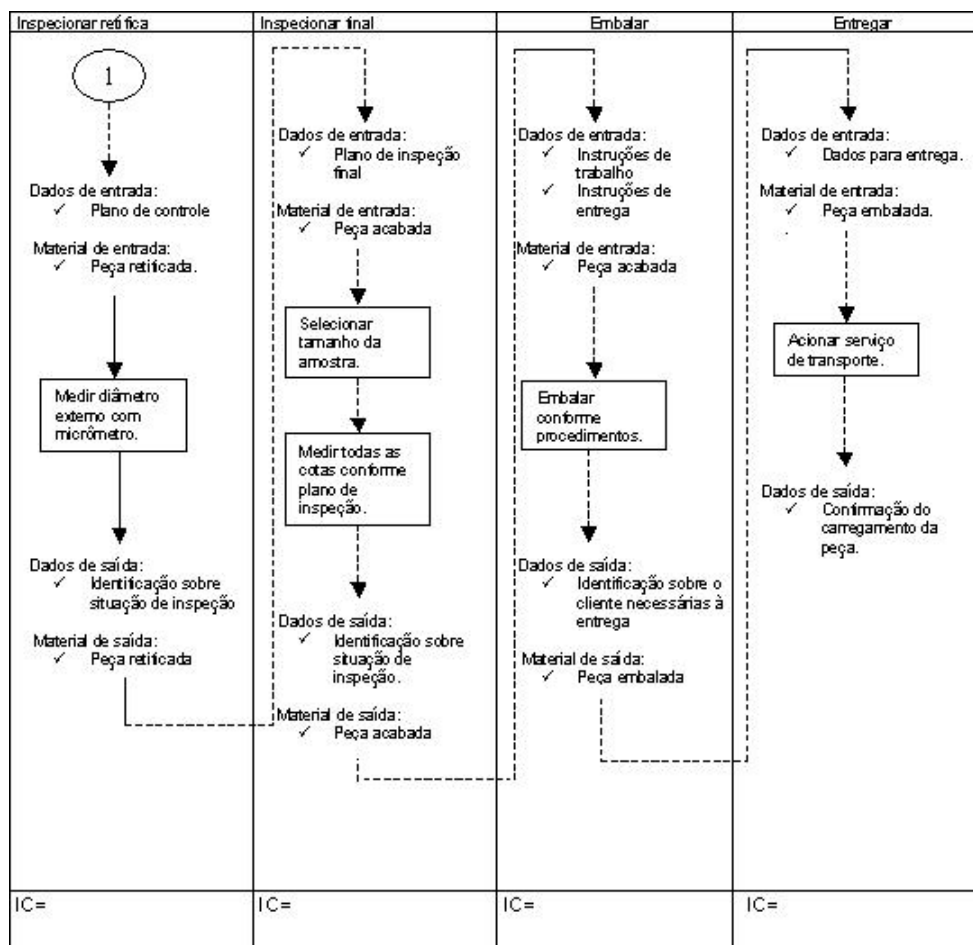


Figura 12: Exemplo de um mapeamento de um processo. Fonte própria.

Um dos objetivos desta representação é a visualização detalhada de cada etapa e também das variáveis envolvidas na transformação. A tabela de processos é também incrementada com o resultado obtido após a análise do Índice de Complexidade do sistema, representada pelas iniciais IC. As informações inerentes a cada etapa do processo servirão de base para a determinação do IC, após estas variáveis serem analisadas através de tabelas de verificação, mostradas a seguir.

#### 4.4.2 Etapa 02: Análise da Complexidade do Sistema

Conforme citado anteriormente, o FMEA é uma forma de verificação de riscos de projetos, e muitas vezes utiliza métodos subjetivos para isso. Observa-se no método critérios como a experiência profissional do pessoal envolvido, as tecnologias atuais, informações do mercado, informações dos concorrentes, histórico de falhas, entre outras.

A proposta neste caso é o de utilizar esta característica de mensuração qualitativa presente no FMEA para a verificação da “intensidade” de cada elemento da complexidade, ou seja, determinar o grau de complexidade de um sistema produtivo. Da mesma forma que ocorre com os itens ocorrência, severidade e detecção, a idéia é a observação de sistemas complexos baseados nos seus graus de incerteza, variedade e imprevisibilidade. No FMEA quantifica-se o risco através da determinação do GPR (grau de prioridade do risco) multiplicando-se os valores encontrados de ocorrência, severidade e detecção. Aqui o objetivo é analisar o grau de complexidade do sistema, através do cálculo do que chamamos de IC (índice de complexidade). A multiplicação dos valores ocorre por que em sistemas complexos a somatória de suas partes sempre será maior que o todo. A fórmula (2) a seguir exprime o que foi dito anteriormente:

$$IC \text{ (índice de complexidade)} = I_n \text{ (incerteza)} \times I_m \text{ (imprevisibilidade)} \times V \text{ (variedade)} \quad (2)$$



O FMEA para a complexidade passa a se chamar CMEA, alusão não casual às siglas oriundas da língua inglesa, por se achar que uma relação mnemônica deve ser mantida para a disseminação do método. O significado da sigla CMEA é: *Complex Modes and Effects Analysis* (Análise dos Modos de Complexidade e seus Efeitos). O resultado da equação (2) mostra ao grupo observador quais etapas apresentam maiores graus de complexidade, sendo que índices maiores (IC's) devem ser priorizados. Como estamos falando de um Sistema de Produção Enxuta, os graus de complexidade encontrados devem ser então reduzidos com a utilização da vasta ementa de ferramentas, conceitos e técnicas apresentadas por esse sistema.

A utilização da fórmula (2) está condicionada ao uso de tabelas relacionadas com a variedade, imprevisibilidade e incerteza para a avaliação da complexidade. Cada tabela apresenta dez tipos de situações que devem ser comparadas (medidas) com a situação percebida. O objetivo final da utilização da pontuação é a de priorizar ações, sendo que as mais valorizadas devem ser verificadas por primeiro. O FMEA possui a característica de não permitir a exclusão de graus de risco, e sim priorizá-los. A adoção eficaz de todas as ações leva ao que se chama de Projeto Robusto. No caso do CMEA a completa verificação dos graus apontados leva a um melhor entendimento sobre o estado atual da complexidade; estado este periodicamente sujeito a alterações (numericamente isso ocorre quando IC for igual a unidade). Não podemos esquecer que o sistema está sempre em contato com o meio externo, sempre susceptível a perturbações e alterações.

#### 4.4.2.1 Avaliação da Variedade

A base construtiva das tabelas de avaliação da variedade é a Lei da Variedade Requerida de Ashby (1999). Decorre desta avaliação a necessidade de maior variedade para o controle do sistema. Quanto maior a variedade que o sistema possui, menor a pontuação a ser dada pelo observador. As tabelas 09 e 10 a seguir indicam possíveis graus de variedade em sistemas complexos. A tabela 09 avalia a variedade para matérias primas e produtos, a tabela 10 para processos e estruturas de produção.

| Variedade aplicada à matéria primas e produto.                                                                            | Peso |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| <i>Commodity</i> global, opção de comprar pronto.                                                                         | 1    |
| <i>Commodity</i> fornecedor local, opção de comprar pronto.                                                               | 2    |
| <i>Commodity</i> fornecedor externo, opção de comprar pronto.                                                             | 3    |
| Elevado número de fornecedores (interno ou externo) sem necessidade de homologação ou validação de processo.              | 4    |
| Médio número de fornecedores (interno ou externo) sem necessidade de homologação ou validação de processo.                | 5    |
| Baixo número de fornecedores (interno ou externo) sem necessidade de homologação ou validação de processo.                | 6    |
| Elevado número de fornecedores (interno ou externo) com a necessidade de homologação de sistema ou validação de processo. | 7    |
| Médio número de fornecedores (interno ou externo) com a necessidade de homologação de sistema ou validação de processo.   | 8    |
| Baixo número de fornecedores (interno ou externo) com a necessidade de homologação de sistema ou validação de processo.   | 9    |
| Condição única de fornecimento, máquina especial e única.                                                                 | 10   |

Tabela 09: Análise da Variedade aplicada a matéria primas e produto. Fonte própria.

| Variedade aplicada a processos e estruturas de produção.                                              | Peso |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Baixo número de atividades, operação automática*.                                                     | 1    |
| Médio número de atividades, operação automática*.                                                     | 2    |
| Elevado número de atividades, operação automática*.                                                   | 3    |
| Atividade manual e única.                                                                             | 4    |
| Baixo número de variáveis a serem observadas durante a execução. Operação manual e padronizada.       | 5    |
| Médio número de variáveis a serem observadas durante a execução. Operação manual e padronizada.       | 6    |
| Elevado número de variáveis a serem observadas durante a execução. Operação manual e padronizada.     | 7    |
| Baixo número de variáveis a serem observadas durante a execução. Operação manual e não padronizada.   | 8    |
| Médio número de variáveis a serem observadas durante a execução. Operação manual e não padronizada.   | 9    |
| Elevado número de variáveis a serem observadas durante a execução. Operação manual e não padronizada. | 10   |

(\*) nestes casos, a alteração da capacidade de processamento está vinculada a alteração de tecnologia de software.

Tabela 10: Análise da Variedade aplicada a processos e estruturas de produção. Fonte própria.

#### 4.4.2.2 Avaliação da Imprevisibilidade

O controle de um sistema complexo também está relacionado com a sua previsibilidade. Segundo Iarozinski (2005, p.10) para a manutenção do controle de um sistema, “é necessário que ele (sistema) seja reativo, isto é, o sistema tem que ter a capacidade para dar uma solução admissível mediante uma variação, em prazo adequado em relação à dinâmica de seu ambiente”. Os agentes indicados na tabela são as entidades responsáveis pela operacionalização dos requisitos dos clientes, ou seja, pela transformação destes requisitos em bens ou serviços. A avaliação da imprevisibilidade de um sistema complexo está expressa na tabela 11.

| Imprevisibilidade                                                                                                       | Peso |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Agente externo, fora de controle, não possui condições de contorno (contingência).                                      | 10   |
| Agente externo, fora de controle, possui condições de contorno (contingência)                                           | 9    |
| Agente externo, com possibilidade de monitoramento, não possui condições de contorno (contingência).                    | 8    |
| Agente externo, com possibilidades de monitoramento, possui condições de contorno (contingência)                        | 7    |
| Agente interno, as variáveis não podem ser monitoradas. O sistema não possui condições de contingência.                 | 6    |
| Agente interno, as variáveis não podem ser monitoradas. O sistema possui condições de contingência.                     | 5    |
| Agente interno, as variáveis somente podem ser monitoradas. O sistema não possui condições de contingência.             | 4    |
| Agente interno, todas as variáveis podem ser monitoradas e controladas. O sistema não possui condições de contingência. | 3    |
| Agente interno, as variáveis somente podem ser monitoradas. O sistema possui condições de contingência.                 | 2    |
| Agente interno, todas as variáveis podem ser monitoradas e controladas. O sistema possui condições de contingência.     | 1    |

Tabela 11: análise da Imprevisibilidade. Fonte própria.

#### 4.4.2.3 Avaliação da Incerteza

A avaliação da incerteza baseia-se no fato de que o sistema só pode estar sob controle quando “é capaz de identificar as diferenças entre os objetivos desejados e a situação real apresentada.” (IAROSINSKI, 2005, p.7). Os níveis de incerteza para o sistema observado são mostrados na tabela 12 a seguir.

| Incerteza                                                                                                                                 | Peso |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Nenhum conhecimento, tecnologia externa, inviável a internalização.                                                                       | 10   |
| Nenhum conhecimento, tecnologia externa viável a internalização (aquisição de software).                                                  | 9    |
| Tecnologia de aquisição elevada, necessidade de formação de especialista interno e consultoria. Com necessidade de aquisição de software. | 8    |
| Tecnologia de aquisição elevada, necessidade de formação de especialista interno. Com necessidade de aquisição de software.               | 7    |
| Tecnologia de aquisição elevada, necessidade de formação de especialista interno. Sem necessidade de aquisição de software.               | 6    |
| Tecnologia de média aquisição, necessidade de treinamento para a área de supervisão.                                                      | 5    |
| Tecnologia de fácil aquisição e de fácil entendimento por parte da operação.                                                              | 4    |
| Conhecimento elevado, tecnologia interna, com a necessidade de especialista.                                                              | 3    |
| Conhecimento elevado, tecnologia interna, com a necessidade de supervisão média.                                                          | 2    |
| Conhecimento elevado, tecnologia interna, sem necessidade de supervisão.                                                                  | 1    |

Tabela 12: Análise da Incerteza. Fonte própria.

#### 4.4.3 Etapa 03: Avaliação do Índice de Complexidade

Os valores encontrados para a variedade, incerteza e imprevisibilidade são multiplicados para a determinação dos Índices de Complexidade de cada etapa específica do processo. Os maiores valores encontrados indicarão as prioridades na tomada de ação. Os valores pontuados da variedade, incerteza e imprevisibilidade devem ser mantidos na mesma ordem da fórmula (2) pois uma análise posterior poderá ser necessária.

A avaliação do Índice de Complexidade de cada etapa ocorre analisando os motivos que geraram as pontuações aplicadas, ou seja, deve ocorrer uma descrição do porquê de cada pontuação. Cada motivo considerado proeminente representa uma situação observada que deverá ser devidamente descrita. A descrição de cada

etapa deve ser suficiente para alimentar os dados necessários à quarta etapa, a qual será avaliada a seguir.

#### 4.4.4 Etapa 04: Análise Cruzada

O objetivo da análise cruzada é relacionar os processos considerados como sendo os de maior grau de complexidade com as ferramentas usuais aplicadas a um Sistema de Produção Enxuta. A base conceitual desta análise é o QFD. Veremos a seguir que a análise cruzada utiliza três tipos de matrizes, as quais ocorrem de forma planejada para que seja possível encontrar tais relações.

O QFD busca uma integração entre o que se deseja (aqui é válido o conceito do cliente interno ou externo) e o que se fornece atualmente ou o que se pode fornecer. Desta forma, a metodologia do QFD complementa a análise através de uma organização do que é considerado complexo, e relaciona estas situações de complexidade com ferramentas úteis à sua redução, controle ou domínio. No QFD busca-se priorizar as ações através da avaliação do produto, do processo e da atividade.

Após terem sido identificados os graus de complexidade pelo CMEA e se ter definido qual será a priorização, inicia-se a avaliação do impacto desta complexidade no sistema de produção enxuta. A avaliação do impacto da complexidade ocorre de forma similar à avaliação das necessidades do cliente no caso do QFD, onde muitas vezes a situação observada deve ser desmembrada em “níveis de complexidade”. Cada nível pode ser desmembrado em mais níveis, até que seja clara a sua possibilidade de

relação com as ferramentas e técnicas de implantação de um Sistema de Produção Enxuta.

O que era chamado de “Qualidades Verdadeiras” no QFD passa a ser conhecido como “Complexidade Observada”. O que era conhecido como “Características da Qualidade” no QFD passa a ser conhecido como “Redutores de Complexidade”. Estes redutores são um conjunto de ferramentas e técnicas apresentado pelos autores Alukal (2003), Womack (1998) e Cusumano (1994). Ocorre neste caso uma reunião de propostas, sendo que a ampliação deste leque é também possível. A seguir verificaremos quais são as principais colaborações de cada autor.

- ü O Modelo de Alukal: O modelo proposto por Alukal (2003) constitui uma interessante base para a estruturação de um SPE e posterior análise do seu impacto sobre a complexidade do sistema (ver figura 13 a seguir). A proposta do autor reúne conceitos aplicados em sistemas de gestão de produção e sistemas da qualidade. Podemos considerar que os conceitos utilizados são de domínio público. Os pilares propostos pelo autor serão utilizados para a redução da complexidade do sistema após a sua observação pelas pessoas envolvidas nas diversas etapas do processo.

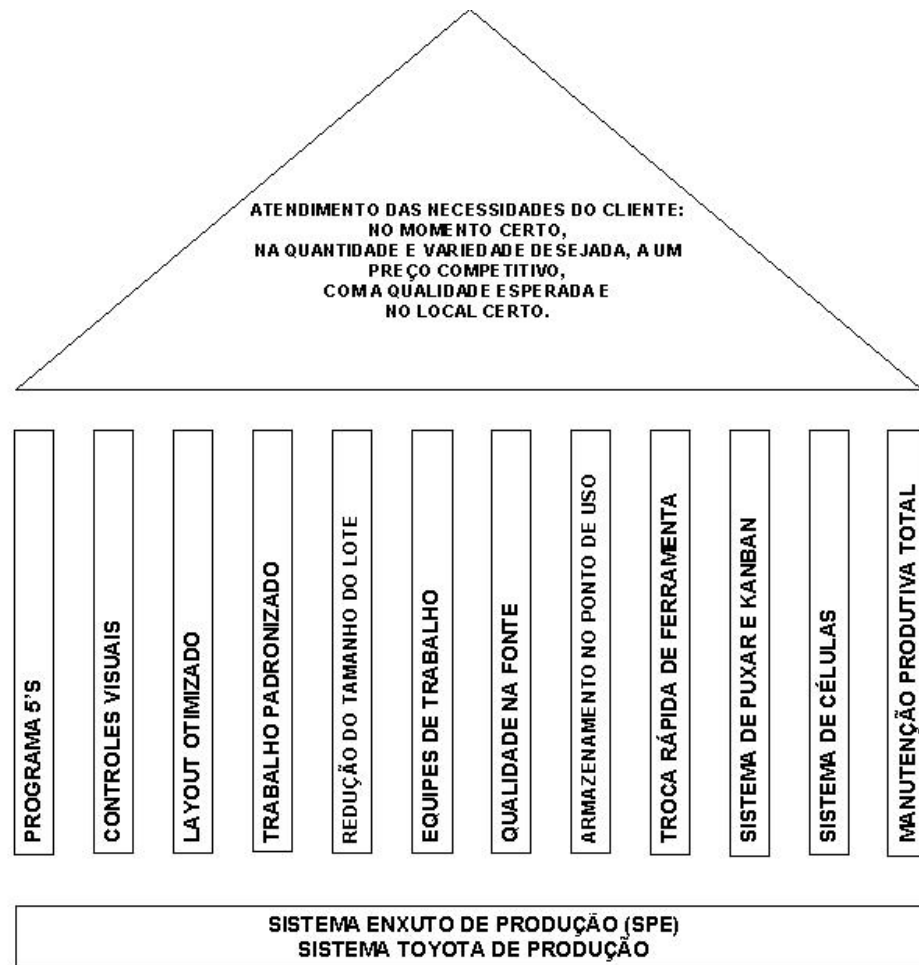


Figura 13: os pilares de um Sistema de Produção Enxuta, segundo Alukal (2003).

ü Proposta de Womack e Jones: De acordo com Womack e Jones (1998), os cinco princípios básicos que devem ser seguidos para a realização de uma manufatura enxuta são: a clara identificação do que é valor para o cliente, a identificação da cadeia de valor, a determinação do fluxo de valor, a produção puxada pela demanda e a perfeição na realização as ações. A realização do fluxo contínuo durante a produção ocorre através de técnicas tais como a determinação de linhas de fluxo, o uso de células de manufatura e a utilização de leiaute otimizado.



ü A contribuição de Cusumano: Cusumano (1994) contribui para a implantação de um sistema de produção enxuta indicando algumas práticas focadas à logística interna do chão de fábrica e outras técnicas já apresentadas por Womack e Jones (1998), Ohno (2002) e Alukal (2003). Cusumano (1994) aponta para a utilização de metodologias internas de produção voltadas à redução do tamanho dos lotes de produção, dos estoques intermediários no processo, do tempo de preparação das máquinas, o Kanban, a padronização do trabalho, o nivelamento da produção, o *poka-yoke*, os trabalhadores multifuncionais, o aumento da terceirização de processos, o uso da automação e a melhoria contínua de produtos e processo.

No caso específico de análise da complexidade para o modelo proposto, a complexidade observada pelo CMEA consegue se relacionar com as técnicas de implantação de um Sistema de Produção Enxuta após a utilização de três tipos de matrizes de relacionamento. Estas matrizes serão explanadas a seguir.

#### 4.4.4.1 Primeira Matriz de Relacionamento

A situações consideradas como prioritárias pelo CMEA são então apresentadas a primeira matriz de relacionamento. A forma prática desta apresentação é a redação das etapas dos processos da mesma forma que foram apresentadas a equipe multifuncional que determinou a pontuação do IC. Neste caso as etapas do processo de produção são discutidas como situações complexas.

A finalidade da primeira matriz de relacionamento é a de desdobrar cada uma situação complexa até que seja possível relacioná-la com as propostas de Womack e Jones (1998), Alukal (2003) e Cusumano (1994). Os níveis mostrados na tabela expressam este desdobramento, sendo que no campo “1º nível” é colocada a situação julgada como sendo “a mais complexa”. Este julgamento ocorre no momento em que são pontuados os graus de complexidade das tabelas fornecidas pelo CMEA.

A tabela 13 a seguir ilustra um exemplo de aplicação da primeira matriz de relacionamento. Os níveis mostrados na coluna da esquerda versam sobre a necessidade de se desmembrar certas situações para facilitar o entendimento. Remonta este caso à subjetividade presente durante o uso do QFD.

| Redução da Complexidade Exigida |           |           | Programa 5's | Controles visuais | Layout otimizado | Trabalho padronizado | Redução do tamanho do lote | Equipes de trabalho | Qualidade na fonte | Armazenamento no ponto de uso | Troca rápida de ferramenta | Sistema de puxar e karban | Sistema de células | Manutenção produtiva total | JIT | Kaizen | Multifuncionalidade pessoas | Multifuncionalidade máquinas |
|---------------------------------|-----------|-----------|--------------|-------------------|------------------|----------------------|----------------------------|---------------------|--------------------|-------------------------------|----------------------------|---------------------------|--------------------|----------------------------|-----|--------|-----------------------------|------------------------------|
| 1 ° Nível                       | 2 ° Nível | 3 ° Nível |              |                   |                  |                      |                            |                     |                    |                               |                            |                           |                    |                            |     |        |                             |                              |
|                                 |           |           |              |                   |                  |                      |                            |                     |                    |                               |                            |                           |                    |                            |     |        |                             |                              |
|                                 |           |           |              |                   |                  |                      |                            |                     |                    |                               |                            |                           |                    |                            |     |        |                             |                              |
|                                 |           |           |              |                   |                  |                      |                            |                     |                    |                               |                            |                           |                    |                            |     |        |                             |                              |
|                                 |           |           |              |                   |                  |                      |                            |                     |                    |                               |                            |                           |                    |                            |     |        |                             |                              |

Tabela 13: Primeira matriz de relacionamento. Fonte própria.

#### 4.4.4.2 A Segunda Matriz de Relacionamento

Os modelos de Womack e Jones (1998), Alukal (2003), e Cusumano (1994) serão confrontados com a proposta de Iarozinski (2005) sob a ótica dos três componentes de um sistema complexo: a variedade, a incerteza e a imprevisibilidade. A segunda matriz de relacionamento (tabela 14 abaixo) avalia o impacto destas propostas em relação à redução da complexidade. A segunda matriz de relacionamento objetiva avaliar o impacto das ações em relação à complexidade do sistema, uma vez que a primeira ação referente à redução da complexidade é a aplicação de uma técnica ou ferramenta ligada à implantação de sistemas de Produção Enxuta.

Além das relações já apresentadas, a segunda matriz nos traz uma quinta coluna. Esta coluna relaciona a forma de como cada medida a ser adotada afeta o sistema. Esta avaliação é importante por indicar qual o nível da estrutura está sendo atingido pela complexidade, uma vez que ela pode ser individual, local ou sistêmica. A abrangência mostra quais os níveis diretamente afetados, alertando o observador sobre o problema a ser analisado. Esta distribuição de atividades ou situações propõe uma classificação das atividades de cada unidade constituinte de um sistema complexo em:

1. Situação interna: corresponde ao status atual do sistema. Reflete as situações no âmbito local que não podem ser analisadas de forma isolada, mas sim conectadas com todo. A situação interna exprime ações com maior grau de agregação de valor. Está relacionada diretamente com as células de produção (uma máquina isolada ou um conjunto delas que representam uma unidade produtiva).

2. Memória: abrange os recursos utilizáveis na execução das tarefas que seguem um procedimento formal, geralmente disponibilizado pelo sistema de gestão da qualidade e produção. Por exemplo: procedimento de trabalho, instruções de trabalho e registros da qualidade. A memória também abrange os conhecimentos próprios dos envolvidos, conhecidos também como *competência necessária para a execução das funções*. A memória está relacionada ao ser humano interagindo com as diversas situações em um ambiente de manufatura.
3. Ambiente: corresponde à interação entre cada componente do processo e o meio externo. No caso de um processo específico, o ambiente pode ser dividido em subsistemas de relação. O ambiente deveria ser considerado como um fractal, onde todas as informações do todo estariam presentes nas partes. O ambiente é a visão sistêmica do todo.

A avaliação da abrangência é importante pois permite ao observador avaliar quão tamanha é a influência das ferramentas ou técnicas utilizadas em relação ao sistema como um todo. Ações podem ter diferentes graus de abrangência. As setas indicadas nas tabelas mostram como cada ação se comporta em relação à incerteza, variedade e imprevisibilidade. As relações descritas na tabela em relação à intensidade sobre os fatores da complexidade provêm de uma análise mais apurada em relação a cada ferramenta ou técnica. O item 4.5 ilustra como cada contra-medida pode influenciar as ferramentas ou técnicas adotadas.

| Os pilares do SPE                 | Elementos de sistemas complexos |           |                   | Abrangência      |
|-----------------------------------|---------------------------------|-----------|-------------------|------------------|
|                                   | Incerteza                       | Variedade | Imprevisibilidade |                  |
| Programa 5's                      | ↓                               | ↑         | →                 | Ambiente         |
| Controles visuais                 | ↓                               | →         | ↓                 | Ambiente         |
| Layout otimizado                  | ↓                               | ↓         | ↓                 | Ambiente         |
| Trabalho padronizado              | ↓                               | ↓         | ↑                 | Memória          |
| Redução do tamanho do lote        | ↓                               | ↓         | ↓                 | Ambiente         |
| Equipes de trabalho               | ↓                               | ↑         | →                 | Ambiente         |
| Qualidade na fonte                | ↓                               | ↑         | ↓                 | Situação interna |
| Armazenamento no ponto de uso     | ↓                               | ↑         | ↓                 | Situação interna |
| Troca rápida de ferramenta (SMED) | ↓                               | ↑         | ↓                 | Situação interna |
| Sistema de puxar                  | ↓                               | →         | ↓                 | Ambiente         |
| Kanban                            | ↓                               | ↑         | ↓                 | Ambiente         |
| Sistema de células                | ↓                               | ↑         | ↓                 | Ambiente         |
| Manutenção produtiva total        | ↑                               | ↑         | ↓                 | Memória          |
| JIT                               | ↓                               | ↑         | ↑                 | Ambiente         |
| Kaizen                            | ↓                               | ↑         | ↓                 | Situação interna |
| Linhas de fluxo                   | ↓                               | ↓         | →                 | Ambiente         |
| Organização da cadeia de valor    | ↓                               | ↑         | ↑                 | Ambiente         |
| Fluxo contínuo                    | ↓                               | ↑         | ↓                 | Ambiente         |
| Centralização de ferramentas      | ↑                               | ↑         | ↓                 | Ambiente         |
| <i>Water spider</i>               | ↓                               | ↑         | ↑                 | Memória          |
| Medição durante o processo        | ↓                               | ↑         | ↓                 | Situação interna |
| Automação                         | →                               | ↑         | ↓                 | Situação interna |
| Produção <i>takt time</i>         | →                               | →         | ↓                 | Ambiente         |
| Desenvolvimento de fornecedores   | ↓                               | ↑         | ↑                 | Ambiente         |
| Poka yoke                         | ↓                               | →         | ↓                 | Situação interna |
| Multifuncionalidade pessoas       | ↑                               | ↑         | ↓                 | Ambiente         |
| Multifuncionalidade máquinas      | ↓                               | ↑         | ↓                 | Memória          |

Legenda de relações:

Eleva

↑

Reduz

↓

Não altera

→

Tabela 14 – A segunda matriz de relacionamento.

#### 4.4.4.3 Terceira Matriz de Relacionamento

A terceira matriz de relacionamento verifica de que forma as contra medidas adotadas influenciam os desperdícios da produção. A tabela 15 mostra de forma abrangente como isso ocorre. Esta análise é importante porque auxilia a implementação do sistema a não cometer erros devido à redundância de ações e também favorece o pensamento sistêmico. Cada medida adotada é então avaliada com relação a sua abrangência. A terceira matriz é utilizada no fechamento das ações tomadas.

| Desperdícios da produção<br>Contramedidas | Super produção         | Transporte | Movimentação | Espera | Processamento | Inventário | Defeito |
|-------------------------------------------|------------------------|------------|--------------|--------|---------------|------------|---------|
| Programa 5's                              | ?                      | ?          | ?            |        | ?             | ?          |         |
| Controles visuais                         |                        | ?          |              | ?      |               |            | ?       |
| Layout otimizado                          |                        | ?          | =            | =      |               | ;          |         |
| Trabalho padronizado                      | ?                      |            | ?            | ?      | ?             |            | ?       |
| Redução do tamanho do lote                | ?                      |            |              |        |               |            | ?       |
| Equipes de trabalho                       |                        |            |              | ?      | ?             |            | ?       |
| Qualidade na fonte                        |                        |            |              | ?      | ?             |            | ?       |
| Armazenamento no ponto de uso             |                        | ?          | ?            | ?      |               | ?          |         |
| Troca rápida de ferramenta                | ?                      |            | ?            | ?      |               | ?          | ?       |
| Sistema de puxar                          | ?                      | ?          |              |        |               | ?          |         |
| Kanban                                    | ?                      | ?          |              | ?      |               | ?          |         |
| Sistema de células                        |                        | ?          | ?            | ?      |               | ?          |         |
| Manutenção produtiva total                | ?                      |            |              | ?      |               |            | ?       |
| JIT                                       | ?                      | ?          |              | ?      |               | ?          |         |
| Kaizen                                    |                        |            | ?            | ?      | ?             |            | ?       |
| Linhas de fluxo                           |                        | ?          |              | ?      | ?             | ?          | ?       |
| Organização da cadeia de valor            |                        | ?          | ?            | ?      |               | ?          |         |
| Fluxo contínuo                            |                        | ?          | ?            | ?      | ?             | ?          |         |
| Centralização de ferramentas              |                        |            | ?            | ?      |               |            |         |
| Water spider <sup>13</sup>                |                        |            | ?            | ?      | ?             |            | ?       |
| Medição durante o processo                |                        | ?          |              | ?      |               |            | ?       |
| Automação                                 |                        |            | ?            | ?      |               |            | ?       |
| Produção takt time                        | ?                      |            |              | ?      |               | ?          |         |
| Desenvolvimento de fornecedores           |                        |            |              |        |               | ?          |         |
| Poka yoke                                 |                        |            | ?            |        |               |            | ?       |
| Multifuncionalidade pessoas               |                        |            |              | ?      | ?             |            | ?       |
| Multifuncionalidade máquinas              |                        |            |              | ?      | ?             |            | ?       |
| Legenda:                                  |                        |            |              |        |               |            |         |
| ( ¥ )                                     | Fortemente relacionado |            |              |        |               |            |         |
| ( ¥ )                                     | Fracamente relacionado |            |              |        |               |            |         |
| ( )                                       | Sem relação direta     |            |              |        |               |            |         |

Tabela 15: A terceira matriz de relacionamento. Fonte própria.

<sup>13</sup> *Water Spider* é uma expressão que denota a pessoa que executa uma larga escala de tarefas que permitem que os trabalhadores executem tarefas que agregam valor. Também conhecido como facilitador lean.

#### 4.4.5 Avaliação das Contramedidas em Relação à Complexidade

As informações resultantes das matrizes de relacionamento permitem identificar os fatores da complexidade presentes no sistema. O CMEA quantifica os níveis de variedade, imprevisibilidade e incerteza, enquanto que a referência cruzada (QFD) os relaciona com os pilares de um SPE.

| Tipo de desperdício | Contramedida                                                                                     | Avaliação do impacto sobre variedade, imprevisibilidade e incerteza.                                                                                                     |
|---------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Super produção      | <ul style="list-style-type: none"> <li>Sistema puxado para a programação de produção.</li> </ul> | Reduz a incerteza, visto que a produção é conforme pedido do cliente. Não utiliza métodos de aproximação, históricos, etc.. A previsão de recursos acompanha esta idéia. |
|                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>Redução de setup</li> </ul>                               | A redução no tempo de preparação envolve medidas que aumentam a variedade do sistema.                                                                                    |
|                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>Manutenção produtiva total.</li> </ul>                    | A manutenção produtiva total reduz a imprevisibilidade, mas aumenta a variedade e a incerteza.                                                                           |
| Transporte          | <ul style="list-style-type: none"> <li>Linhas de fluxo.</li> </ul>                               | Reduz a incerteza e a variedade.                                                                                                                                         |
|                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>Sistema puxado.</li> </ul>                                | Reduz a incerteza, quando devidamente sinalizado.                                                                                                                        |
|                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>Organização da cadeia de valor.</li> </ul>                | Reduz a incerteza, aumenta a variedade, pois pode necessitar de mais equipamentos. Aumenta a imprevisibilidade.                                                          |
|                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>Sistema Kanban.</li> </ul>                                | Aumenta a variedade, reduz a incerteza e a imprevisibilidade.                                                                                                            |
| Movimentação        | <ul style="list-style-type: none"> <li>Aplicação dos 5's.</li> </ul>                             | Pode aumentar a variedade, reduz a incerteza e reduz a previsibilidade.                                                                                                  |
|                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>Fluxo contínuo.</li> </ul>                                | Reduz a incerteza, variedade e imprevisibilidade.                                                                                                                        |
|                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>Centralização de ferramentas.</li> </ul>                  | Ferramentas de uso não contínuo. Aumenta a variedade, incerteza e reduz a imprevisibilidade.                                                                             |
|                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>"Water spider"</li> </ul>                                 | Aumenta a variedade, reduz a incerteza aumenta a imprevisibilidade.                                                                                                      |
| Espera              | <ul style="list-style-type: none"> <li>Medição durante o processo.</li> </ul>                    | Aumenta a variedade, reduz a imprevisibilidade e diminui a incerteza.                                                                                                    |
|                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>Manutenção produtiva total.</li> </ul>                    | Aumenta a variedade, reduz a incerteza e a imprevisibilidade.                                                                                                            |
|                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>Autonomação.</li> </ul>                                   | Aumenta a variedade uma vez que o operador passa a realizar mais tarefas, a imprevisibilidade recua devido a "inteligência" da máquina.                                  |
|                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>Kaizen.</li> </ul>                                        | Aumenta a variedade, reduz a incerteza e a imprevisibilidade.                                                                                                            |
|                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>Produção <i>takt time</i>.</li> </ul>                     | A variedade é função da demanda, a incerteza é reduzida, pois produz o que o mercado solicita a imprevisibilidade também é função do mercado.                            |
| Processamento       | <ul style="list-style-type: none"> <li>Linhas de fluxo.</li> </ul>                               | Reduz a incerteza e a variedade.                                                                                                                                         |
|                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>Fluxo contínuo.</li> </ul>                                | Reduz a incerteza, variedade e imprevisibilidade.                                                                                                                        |
|                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>Kaizen.</li> </ul>                                        | Aumenta a variedade, reduz a incerteza e a imprevisibilidade.                                                                                                            |
| Inventário          | <ul style="list-style-type: none"> <li>Desenvolvimento de fornecedores.</li> </ul>               | Aumenta a variedade, reduz a incerteza e a imprevisibilidade.                                                                                                            |
|                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>Kanban.</li> </ul>                                        | Aumenta a variedade, reduz a incerteza e a imprevisibilidade.                                                                                                            |
|                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>Fluxo contínuo.</li> </ul>                                | Reduz a incerteza, variedade e imprevisibilidade.                                                                                                                        |
|                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>Redução do setup.</li> </ul>                              | A redução no tempo de preparação envolve medidas que aumentam a variedade do sistema.                                                                                    |
| Defeitos            | <ul style="list-style-type: none"> <li>Poka yoke</li> </ul>                                      | Reduz a variedade, reduz a incerteza e imprevisibilidade.                                                                                                                |
|                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>Fluxo unitário</li> </ul>                                 | Reduz a incerteza, variedade e imprevisibilidade.                                                                                                                        |
|                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>Autonomação.</li> </ul>                                   | Aumenta a variedade uma vez que o operador passa a realizar mais tarefas, a imprevisibilidade recua devido a "inteligência" da máquina.                                  |

Tabela 16: Análise da complexidade sobre as contramedidas de implantação. Fonte própria.



A tabela 16 mostra uma proposta inicial sobre os efeitos das contramedidas utilizadas na implantação de um SPE em relação às três características de um sistema complexo: a variedade, a imprevisibilidade e a incerteza (Iarozinski, 2005). Estas influências foram determinadas em relação a um sistema de produção típico, onde a preocupação é mostrar que em um primeiro momento existe uma heterogeneidade de impacto entre os três fatores. Este descompasso pode significar que o sistema não encontre o equilíbrio esperado para garantir a eficácia na implantação e a manutenção de um sistema de Produção Enxuta.

#### 4.5 Os Desperdícios da Produção e suas Contramedidas

As contribuições de Alukal (2003), Womack (1998) e Cusumano (1994) permitem a utilização das contramedidas necessárias para manter o sistema sob condições controladas, embora a qualquer momento novas variáveis eventualmente não consideradas possam ocorrer. O objetivo é a preservação da estabilidade do sistema frente a estas alterações ou prevenir que possíveis distúrbios levem o sistema a um estágio onde ocorra a falta de controle. Fato importante a ser mencionado é que determinados distúrbios devem ser sempre considerados e avaliados, embora muitas vezes estes distúrbios não sejam contemplados em análises preliminares. A tabela 17 relaciona os sete desperdícios da produção de um Sistema de Produção Enxuta, uma breve definição, exemplos de ocorrências, causas e principalmente as contramedidas nor-

malmente aplicadas. A utilização desta tabela melhora a forma da avaliação do sistema frente as medidas adotadas.

| Os 7 desperdícios: | Definição:                                                                                              | Exemplos:                                                                                                                                      | Causas:                                                                                                                                                   | Contramedidas:                                                                                                     |
|--------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Super produção     | Produzir mais do que o cliente necessita no momento.                                                    | Produzir produtos para estoque baseado em previsão de vendas.<br>Processo de fabricação em lotes resultando em excesso de produtos fabricados. | Previsões de vendas.<br>Preparações longas.<br>Prevenção de quebras.                                                                                      | Sistema puxado para a programação de produção.<br>Redução de setup<br>Manutenção produtiva total.                  |
| Transporte         | Movimentação de produtos não agrega valor.                                                              | Movimentação das peças dentro da produção.<br>Movimentação das peças entre as etapas pertencentes à cadeia de valor.                           | Produção em lotes, produção empurrada, estoques intermediários e Layout funcional.                                                                        | Linhas de fluxo.<br>Sistema puxado.<br>Organização da cadeia de valor.<br>Sistema Kanban.                          |
| Movimentação       | Movimentos que não agregam valor.                                                                       | Procura por peças, ferramentas, desenhos, etc...<br>Levantar caixas de peças.<br>Posto de trabalho ergonomicamente incorreto.                  | Local de trabalho desorganizado.<br>Itens perdidos.<br>Área de trabalho insegura.                                                                         | Aplicação dos 5's.<br>Fluxo contínuo.<br>Centralização de ferramentas.<br>"Water spider"                           |
| Espera             | Tempo inativo que se cria quando materiais, informações, pessoas ou equipamentos não estão disponíveis. | Esperando por peças, desenhos, inspeção, máquinas, informações, manutenção de máquinas.                                                        | Produção empurrada.<br>Trabalho desbalanceado.<br>Inspeção centralizada.<br>Ingresso de peças atrasadas.<br>Falta de prioridade.<br>Falta de comunicação. | Medição durante o processo.<br>Manutenção produtiva total.<br>Autonomia.<br>Kaizen.<br>Produção <i>takt time</i> . |
| Processamento      | Esforços que não agregam valor no ponto de vista do cliente.                                            | Limpeza múltipla de peças.<br>Tolerâncias muito apertadas.<br>Ferramentas ineficazes.                                                          | Atrasos entre processamentos.<br>Sistema empurrado.<br>Não entendimento das necessidades dos clientes.                                                    | Linhas de fluxo.<br>Fluxo contínuo.<br>Kaizen.                                                                     |
| Inventário         | Mais materiais, peças ou produtos sendo processados do que o cliente necessita.                         | Matérias primas.<br>Inventário em processo.<br>Produtos acabados.<br>Suprimento de insumos.<br>Componentes comprados.                          | Falta de fluxo.<br>Setups elevados.<br>Elevado <i>lead time</i> .<br>Falta de procedimentos de organização.                                               | Desenvolvimento de fornecedores.<br>Kanban.<br>Fluxo contínuo.<br>Redução do setup.                                |
| Defeitos           | Trabalhos que contém erros, retrabalhos, perdas ou falta de algo necessário.                            | Sucata, retrabalho, defeitos, correções, falhas de campo, variações e peças perdidas.                                                          | Falhas de processo.<br>Processamento em lotes.<br>Máquinas incapazes.                                                                                     | Poka yoke<br>Fluxo unitário<br>Autonomia.                                                                          |

Tabela 17: Os desperdícios da produção, exemplos, causas e contramedidas. Fonte [www.gemba.com](http://www.gemba.com)

## 5 APLICAÇÃO DO MÉTODO PROPOSTO

A verificação da eficácia do método carece de uma aplicação prática. Desta forma, será apresentado na seqüência um típico ambiente fabril para que seja utilizado como exemplo de utilização do método.

### 5.1 Apresentação do Ambiente a ser Estudado

A Empresa utilizada para a aplicação do modelo é propícia para a implantação de uma manufatura enxuta, uma vez que seus lotes de produção geralmente são considerados pequenos e possui uma grande variedade de tipos de produtos em sua lista de fabricação. Este tipo de característica eleva a possibilidade para a ocorrência de principalmente quatro tipos de desperdícios: a super produção, a espera, processamento indevido e a elevação do inventário. A empresa atua no mercado de reposição de peças para equipamentos pesados de movimentação de terra, atuando tanto no mercado nacional quanto internacional. Possui um parque fabril bastante variado, uma vez que internaliza 95% de todos os processos necessários à fabricação de suas peças. A Empresa possui os seguintes processos de manufatura:

- ü Usinagem.
- ü Retífica.
- ü Solda.

- ü Caldeiraria.
- ü Tratamento Térmico.
- ü Fresamento de engrenagens.

A Empresa possui 99 funcionários e conta com uma lista de produtos com cerca de 8000 itens. Mantém em estoque algo em torno de 5000 itens desta lista, sendo que os demais só ocorrem em função de pedidos sob encomenda. São os seguintes seus principais insumos e matérias primas:

- ü Aços Laminados.
- ü Aços Trefilados.
- ü Aços Fundidos.
- ü Aços Forjados.
- ü Ferro Fundido Nodular.
- ü Ferro Fundido Cinzento.
- ü Alumínio Fundido.
- ü Bronze fundido.
- ü Borrachas (Vulcanização de peças usinadas internamente realizada em terceiros).
- ü Tratamentos superficiais (cromagem e zincagem em peças usinadas internamente).
- ü Tintas (aplicadas em peças acabadas).
- ü Eletrodos e arames de solda (utilizado em operações de caldeiraria).
- ü Pastilhas (insertos) intercambiáveis usadas em equipamento de usinagem como tornos, fresas e afins.

A comercialização de seus produtos ocorre em função da necessidade da manutenção preventiva ou corretiva de máquinas e equipamentos aplicados ao processo de movimentação de terra. Estas máquinas e equipamentos têm seu foco localizado principalmente em grandes obras, como, por exemplo, a construção de estradas e rodovias, sua manutenção e ampliação, usinas hidroelétricas, grandes canais de irrigação e em importantes mineradoras de ferro, ouro e bauxita. Este tipo de necessidade leva à produção de pequenos lotes, itens customizados e também tempos reduzidos para a sua confecção.

## 5.2 Enxergando a Complexidade do Sistema

Rother & Shook (1999) apontam para a necessidade de se “enxergar” o fluxo de produção, onde quanto maior for o grau de detalhamento, melhor serão as oportunidades de melhoria. O reducionismo sugerido pelo autor não fala em simplificações, mas sim de uma forma de se identificar todas as etapas de um processo, suas inter-relações e então analisá-la no aspecto da agregação de valor. A análise do autor não se preocupa em abordar o sistema como sendo complexo, e sim através da verificação dos tempos individuais de processamento.

A aplicação do mapeamento de fluxo de valor, da forma como é apresentada, é bem vinda em uma organização mecanicista, de demanda constante e pouco solicitada para a customização. O ambiente onde se propõe a aplicação possui uma

demanda oscilante impondo uma elevada taxa de flexibilização durante a produção. O mapeamento do fluxo de valor permite analisar:

- ü O número de operações necessárias.
- ü Gargalos de produção.
- ü Ociosidade das máquinas.
- ü Número de pessoas envolvidas.
- ü O fluxo de informação.
- ü Possíveis operações não necessárias.
- ü O layout da produção.
- ü O número de estoques intermediários.
- ü O *lead time* teórico do processo.

As observações indicadas pelo autor estão relacionadas com períodos passados, embora o cenário real se altere em função da linha do tempo. A análise proposta não é capaz de atuar com eficácia sobre os três itens dos sistemas complexos, que segundo Iarozinski (2005) são: a imprevisibilidade, a incerteza e a variedade. Para uma situação proposta, será avaliado qual o grau de complexidade existente nas etapas, bem como o impacto das contramedidas necessárias a implantação do sistema.

### 5.3 Aplicando o Modelo

A apresentação do modelo de investigação da complexidade utiliza uma simulação de um pedido real de um cliente. As etapas necessárias serão descritas individualmente. A seguir temos a solicitação do cliente:

“Construção de um eixo de apoio para equipamento de movimentação de terra. As especificações fornecidas pelo cliente são: comprimento total, diâmetro e chanfros. A peça deve ser tratada termicamente para uma dureza superficial de 55 HRc, sendo que a dureza de núcleo não é fator determinante. A peça deve ter um acabamento final com rugosidade inferior a 8  $\mu\text{m}$ , medido em  $\text{ra}$ <sup>14</sup>. A matéria prima utilizada é o SAE 8620. Prazo de entrega e valor conforme orçamento fornecido .”

Para a Norma ISO9000:2000 (ABNT, 2000), a avaliação dos seguintes requisitos é condição obrigatória:

Requisitos declarados:

- ü Matéria prima: aço laminado SAE 8620.
- ü Requisitos dimensionais: comprimento total, diâmetro e chanfros.
- ü Requisitos de Tratamento Térmico: dureza superficial de 55HRc.
- ü Rugosidade  $\text{ra} = 8 \mu\text{m}$ .
- ü Prazo e preço.

Requisitos não declarados:

- ü Camada efetiva temperada será de 1,5mm 550 HV 0,1 (conforme Norma Interna da Organização).

---

<sup>14</sup> N. A . Escala de medição de rugosidade superficial de peças metálicas.

- ü Tratamento indicado para o caso: cementação gasosa.

Requisitos estatutários e regulamentares:

- ü Ver Norma SAE J432-B para o material em questão (composição química e temperabilidade).

Requisitos próprios da organização:

- ü Utilização de norma própria para a medição de camada efetiva.

Nesta etapa inicial a Norma ISO 9001:2000 mostra-se eficaz por determinar que todos os requisitos do cliente devem estar resolvidos. Importante observar que a preocupação de agregar valor é algo declarado na norma, e deve ser incorporado ao planejamento do processo e verificado na inspeção final. Muitas vezes o cliente não tem o completo domínio sobre a tecnologia empregada, aqui no caso em relação ao tipo de tratamento térmico aplicado, o que deve ser então a ele explanado.

### 5.3.1 Identificação dos Elementos do sistema produtivo (etapa 01)

A primeira etapa para a utilização do método é identificação dos elementos através do mapeamento dos processos. A primeira etapa se refere aos processos próprios da Norma ISO9000:2000, estes processos são necessários pois fazem parte da estrutura burocrática mínima para se ter o sistema em concordância com os requisitos da Norma. Como foi avaliado anteriormente, muitas situações consideradas complexas podem se tornar complicadas e até mesmo simples com o uso de um sistema de padronização de operações, neste caso podemos considerar o uso da rotina da



Norma como sendo um bom exemplo. A figura 14 mostra todas as etapas necessárias a determinação dos requisitos do produto, determinação do processo, compra de matéria prima, inspeção e controle da produção para o item estudado. Nesta fase, todas as etapas ocorrem em função dos requisitos determinados pela Norma ISO 9001:2000. As figuras 15 e 16 mostram o mapeamento do processo para as etapas da produção e entrega. Observar que no mapeamento está descrito o maior número possível de variáveis envolvidas no sistema, isso ocorre para que a análise da complexidade ocorra de forma mais real possível.

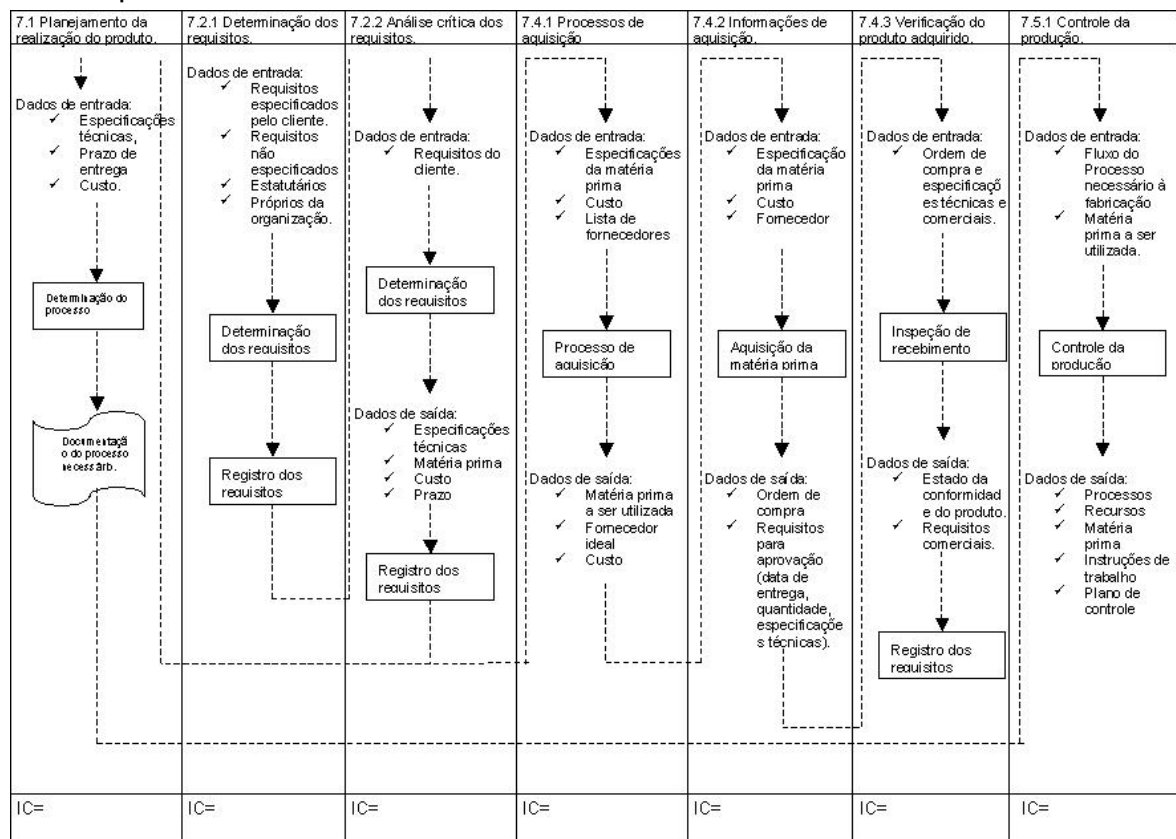


Figura 14: Processo para a determinação dos requisitos de clientes. Fonte própria.

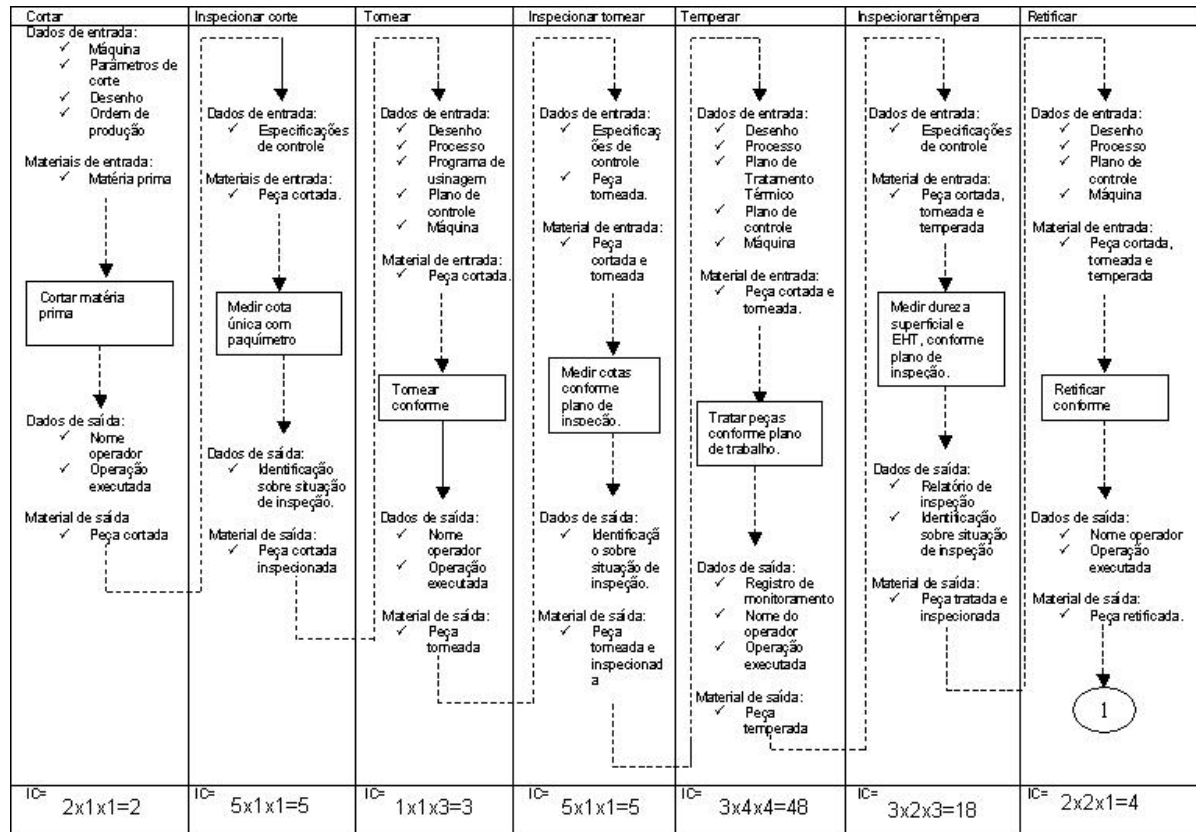


Figura 15: verificação de complexidade de processo. Fonte própria.

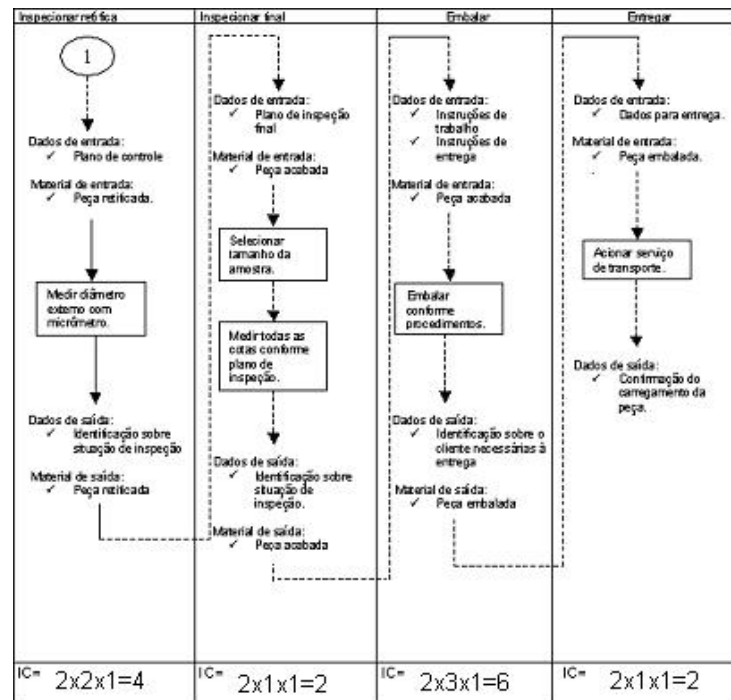


Figura 16: continuação do processo. Fonte própria.

### 5.3.2 Análise da Complexidade (etapa 02)

A análise da complexidade ocorre através da avaliação sistêmica de cada processo envolvido, necessário ao atendimento dos requisitos do cliente. O objetivo é o de determinar o grau de complexidade desses processos, através do cálculo dos IC's correspondentes a cada processo (índices de complexidade). Como já descrito anteriormente, o cálculo é realizado tomando-se por base os índices individuais de incerteza, variedade e imprevisibilidade de cada etapa. A utilização de uma equipe multifuncional torna esta avaliação mais apropriada, visto que características subjetivas são inerentes a este processo de avaliação. Cada índice calculado deve ser anotado na mesma tabela utilizada para o mapeamento dos processos, sendo que é importante observar que cada avaliação ocorrida é registrada pelo número escolhido na tabela (daí a necessidade de se explicitar os fatores de cada multiplicação utilizados).

Cada etapa do processo deve ser analisada sob o foco da incerteza, imprevisibilidade e variedade presente no sistema. Esta análise deve ser feita utilizando as tabelas 10 ou 11, 12 e 13. Propositadamente não foram calculados os valores de IC's referentes à avaliação burocrática das necessidades do cliente (figura 14), uma vez que este trabalho foca elementos próprios do sistema produtivo.

### 5.3.3 Avaliação do Índice de Complexidade (etapa 03)

A tabela de verificação dos índices de complexidade aponta para a operação de Têmpera<sup>15</sup> como sendo a mais complexa (IC=48). A priorização das ações deve ocorrer para este ponto específico do processo, estendendo-se também para os demais. No caso específico deste trabalho, estaremos avaliando somente aquele que apresentou o maior índice. A avaliação dos fatores da multiplicação da fórmula de IC aponta para:

VARIEDADE: O Índice de Variedade foi pontuado com valor três (foi utilizada a tabela 10 por se tratar de um processo), por considerar que existe um elevado número de atividades, embora a operação seja automática. Isso significa que o operador está exposto a uma série de informações necessárias a produção do item. Apesar de ser uma operação automática, são necessários vários dados de entrada para sua efetivação. Por exemplo: a dureza necessária, o material a ser aplicado, dimensões, temperatura do processo, tempo de processo e informações sobre o estado atual da atmosfera do forno e de suas condições de funcionamento (chechar se todas as resistências de aquecimento estão funcionando, por exemplo). Estas informações são reunidas, avaliadas e então definido novo processo de fabricação.

INCERTEZA: O Índice de Incerteza foi pontuado com valor quatro: estamos considerando que este eixo nunca fora fabricado antes, não existe processo definido, mas o conhecimento da equipe é suficiente para planejar novo processo. Os critérios para a pontuação baseiam-se em que o conhecimento sobre o assunto é elevado, possui tec-

---

<sup>15</sup> Nota do autor: operação de tratamento térmico onde se busca elevar a resistência mecânica da peça.

nologia interna mas é necessária a presença de um especialista. As informações desejadas ao cumprimento dos objetivos relacionados na entrada, são supridas parcialmente pelo pessoal operacional. No entanto encontra suporte técnico quando recorre a especialistas internos.

**IMPREVISIBILIDADE:** O índice de Imprevisibilidade foi pontuado com valor quatro: o equipamento a ser utilizado é único na planta de produção. As operações necessárias são realizadas por agentes internos à organização, sendo que as variáveis do produto não podem ser medidas durante a sua realização. Somente é possível o monitoramento de variáveis do processo, que neste caso são: temperatura da câmara de aquecimento, temperatura do óleo de têmpera, potencial de carbono e tempo de permanência no processo.

A resposta do sistema indica que ele possui duas características importantes que elevam a sua complexidade: existe um número elevado de variáveis de entrada e também que o sistema não possui contingência. Estas informações serão os dados de entrada para a primeira matriz de relação.

Em um Sistema de Manufatura Enxuta, os assuntos relacionados à falta de informação sobre processos, produtos, fluxo, impacto de possíveis não conformidades geradas no processo e sua relação com a aplicação da peça são tratados como “Desperdício de Espera”. As ações normalmente aplicadas remetem à utilização de um número cada vez maior de procedimentos e instruções de trabalho, treinamento do operador e sistemas de sinalização “*andon*”. A avaliação do sistema pelo aspecto da complexidade mostra que é necessária a redução da variedade para que ele tenha estabilidade, ação contraditória em relação ao que sugere um SPE. A introdução de um maior número de informações na organização afeta a estabilidade do sistema. Retornando ao

exposto no item 3.5.2, a inteligência demanda um certo tempo para recorrer à estrutura, assimilar as informações e re-estabilizar a organização. Os aspectos ligados à imprevisibilidade e incerteza do sistema também encontram forte relação com o desperdício da espera. A idéia aqui é a de relacionar as medidas adotadas pelas técnicas habituais de implantação de um sistema de produção enxuta com aquelas provenientes da teoria da complexidade. Desta forma, busca-se um complemento de ações.

#### 5.3.4 Análise Cruzada (etapa 04)

A análise cruzada utiliza as matrizes apresentadas anteriormente para a realização de três tarefas distintas: correlacionar a complexidade observada com as contramedidas mais apropriadas, correlacionar estas contramedidas com as três características de um sistema complexo (variedade, incerteza e imprevisibilidade) e por último avaliar a extensão da contramedida com relação aos sete desperdícios da produção.

A figura 17 a seguir mostra o exemplo de aplicação da Primeira Matriz de Relação para a condição considerada como sendo a mais complexa do processo. As contramedidas necessárias, neste primeiro momento, são anotadas e posteriormente analisadas e implementadas. Existe também uma indicação de quais os possíveis desperdícios presentes nesta etapa.



segundo nível “padronizar processos por tipos de matérias primas”. As contramedidas indicadas na figura 18, são avaliadas a seguir:

| Os pilares do SPE    | Elementos de sistemas complexos |           |                   | Abrangência      |
|----------------------|---------------------------------|-----------|-------------------|------------------|
|                      | Incerteza                       | Variedade | Imprevisibilidade |                  |
| Programa 5's         | ↓                               | ↑         | →                 | Ambiente         |
| Controles visuais    | ↓                               | →         | ↓                 | Ambiente         |
| Trabalho padronizado | ↓                               | ↑         | ↓                 | Memória          |
| Equipes de trabalho  | ↓                               | ↑         | →                 | Ambiente         |
| Kaizen               | ↓                               | ↑         | ↓                 | Situação interna |

Figura 18: Lista de contramedidas. Fonte própria.

A utilização da Terceira Matriz de Relação mostra que as contramedidas tomadas podem ter influência positiva em outros tipos de desperdícios, sendo desta forma possível elevar seu grau de abrangência. Para o caso estudado, o desperdício apontado foi o de Espera. A figura 19 mostra estas relações para o exemplo utilizado. A avaliação das contramedidas propostas em relação à complexidade, verificadas no item 5.3.5 a seguir se preocupa em analisar a possível ocorrência de *trade-offs* em relação às contramedidas adotadas. Esta análise permite a adoção de medidas de implantação mais abrangentes após a identificação das ferramentas diretamente relacionadas.



| Desperdícios da produção<br>Constramedidas | Super produção         | Transporte | Movimentação | Espera | Processamento | Inventário | Defeito |
|--------------------------------------------|------------------------|------------|--------------|--------|---------------|------------|---------|
| Programa 5's                               | ?á                     | ?          | ?            | ?      | ?             | ?          |         |
| Controles visuais                          |                        | ?á         |              | ?®     |               |            | ?®      |
| Trabalho padronizado                       | ?á                     |            | ?=           | ?=     | ?=            |            | ?=      |
| Equipes de trabalho                        |                        |            |              | ?á     | ?İ            |            | ?İ      |
| Kaizen                                     |                        |            | ?á           | ?^     | ?^            |            | ?^      |
| Legenda:                                   |                        |            |              |        |               |            |         |
| ( ? » )                                    | Fortemente relacionado |            |              |        |               |            |         |
| ( ? p )                                    | Fracamente relacionado |            |              |        |               |            |         |
| ( )                                        | Sem relação direta     |            |              |        |               |            |         |

Figura 19: As relações entre as constramedidas e os desperdícios da produção para o exemplo adotado. Fonte própria.

### 5.3.5 Avaliação das Constramedidas Propostas em relação à Complexidade (etapa 05)

A análise a seguir verifica como cada constramedida proposta deve ser trabalhada em relação à complexidade observada. Acompanham esta análise a verificação da abrangência da ação em termos de ambiente, memória e situação interna e a necessidade de se adequar o sistema com as constramedidas propostas. No caso estudado, são as seguintes as propostas a serem aplicadas:

PROGRAMAS 5'S: objetivo inicial é a redução da incerteza. O programa se baseia na adequação da quantidade de itens que compõem uma unidade processadora, onde a premissa é que sempre existem elementos desnecessários ou faltantes. A aplicação mais contundente ocorre na avaliação e no questionamento da necessidade da existên-

cia de processos, ferramentas de trabalho, número de tipos (produtos), possibilidade de utilização comum de certos recursos e a individualização de outros recursos. Os três primeiros sentidos tendem a produzir ações estáticas (utilização, ordenação e limpeza); os dois últimos, ações dinâmicas (saúde e autodisciplina). A não adoção de ações dinâmicas leva à ineficiência do sistema. Segundo Hirano *apud* Liker (2005, pg. 156) os “5’s é uma ferramenta que auxilia a tornar possíveis resoluções de problemas e, se usada de uma maneira sofisticada, pode ser parte do processo de controle visual de um sistema enxuto bem planejado”. A introdução de um programa 5’s eleva a variedade do sistema, pois a sua operacionalização, baseada principalmente na autodisciplina, exige um comportamento holístico do operador, o qual estará inserido em um ambiente padronizado à organização. Esta padronização exige maiores competências como por exemplo: o próprio entendimento da filosofia, o entendimento das ações tomadas para a facilitação de suas atividades (observação de painéis, procedimentos documentados para tarefas simples, entre outras). Uma nova avaliação do grau de complexidade deve ser realizada após a implantação inicial do sistema. O 5’s atuam diretamente no ambiente, o qual sofre várias influências do sistema produtivo, visto a diversidade encontrada.

**CONTROLES VISUAIS:** atuam com mais intensidade na redução da incerteza. A compreensão da situação atual do sistema, quando os usos de recursos visuais são intensificados, é evidente. O entendimento de formas, gráficos, cores e sinais elevam o nível de compreensão do sistema. A utilização de controles visuais, ao invés da interpretação de instruções de trabalho, procedimentos e especificações via projeto, reduz as possibilidades da ocorrência de erros. Elementos processadores se tornam mais entendíveis quando se utilizam recursos tipo controles visuais. Para Liker (2005, pg. 157) “controle

visual é qualquer dispositivo de comunicação usado no ambiente de trabalho para nos dizer rapidamente como o trabalho deve ser executado e se há algum desvio de padrão.”

**TRABALHO PADRONIZADO:** as maneiras de se operacionalizar o sistema segue um padrão pré-definido. As melhorias de processo são conduzidas pelos níveis dinâmicos do sistema, uma vez que a padronização permite que sempre se sigam os mesmos métodos previamente aprovados. O trabalho padronizado reduz a incerteza mas eleva a variedade, embora a utilização de procedimentos operacionais no posto de trabalho torne a operacionalização mais simples. Este tópico deve ser precedido pelo treinamento operacional e pela conseqüente avaliação da eficácia deste treinamento.

**EQUIPES DE TRABALHO:** aqui se faz necessária a adoção do conceito de equipes semi-autônomas. As equipes devem ser formadas por pessoas com o mais amplo conhecimento do processo possível, evitando a especialização concentrada e dando espaço ao conhecimento múltiplo. As equipes de trabalho devem ter amplo conhecimento de toda a cadeia de fornecimento, de maneira a ser comparada a um fractal. Equipes de trabalho com visão holística reduzem o impacto criado pela variedade e ao mesmo tempo apresentam uma resposta coerente ao efeito da imprevisibilidade.

**KAIZEN:** o sistema de melhoria Kaizen possui uma dimensão dinâmica. Esta dimensão dinâmica leva o Kaizen a ser também uma maneira de implementação das contramedidas identificadas. Podemos considerar a dualidade desta metodologia, atando-a às vezes como contramedida ou como base de melhoria contínua para o sistema.

## 6 CONCLUSÕES

Uma rápida análise do cenário industrial metal-mecânico brasileiro permite afirmar que estamos cada vez mais próximos de novas tecnologias de processamento e de gestão. As máquinas necessárias à transformação utilizadas pelas grandes potências mundiais co-existem com a nossa realidade. Hoje podemos nos sentir orgulhosos pois, além de termos esta paridade tecnológica, também exportamos tecnologia de usinagem para vários países. Este avanço se deve em parte à globalização e também à nossa eficiência como usuários e fabricantes de equipamentos. Outro fator que merece atenção se refere a sistemas de gestão organizacional. O aporte de novas formas de gerenciamento encontram no Brasil um vasto e fértil campo de aplicação.

Podemos considerar que a massiva presença de indústrias estrangeiras em nosso território contribui para esta disseminação, fato que atinge, muitas vezes de forma procrastinada, a cadeia formada pelas empresas subcontratadas. A condição de ser fornecedor de grandes empresas mundiais, nicho de mercado onde estão incluídas muitas empresas do ramo metal-mecânico, aproxima estas organizações destes novos sistemas de gestão.

Em um sentido mais filosófico, a eleição do Sistema de Produção Enxuta como modelo de gestão é oportuna por possuir uma importante característica: a valorização do ser humano. Esta valorização vem enaltecer uma das principais qualidades do ser humano: a sua inesgotável capacidade de criação e a sua inteligência.

A Manufatura Enxuta ainda reúne outras características extremamente favoráveis à dinâmica na qual os principais mercados estão inseridos:

- ü o incisivo combate ao desperdício, o qual pode atingir até questões ecológicas, sociais e culturais,
- ü a extrema preocupação com a satisfação do cliente. Neste contexto estão inseridas situações que vão desde a entrega dos pedidos no momento certo, com um preço atraente, até mesmo na satisfação de desejos pessoais,
- ü o crescimento da inteligência da empresa calcado no crescimento intelectual de cada elemento que a compõe, e o compromisso com a melhoria contínua, que impulsiona a empresa rumo ao aprendizado da organização.

Segerstedt (1999, p.195) faz dois questionamentos frente aos sistemas produtivos voltados ao lucro que merecem nossa atenção: “porque se esforçar para se ter elevados lucros? Porque o presidente, gerentes ou proprietários desejam isso? Este argumento raramente estimula todo o pessoal envolvido no processo de produção.” A colocação do autor serve para confrontar duas culturas e entender o porquê do maior sucesso na implantação de sistemas de produção enxuta em empresas orientais. Para a cultura oriental, a participação em um sistema produtivo extrapola as necessidades individuais, o compromisso do trabalhador oriental tem bases culturais mais sólidas, levando-o a preocupar-se de uma forma diferenciada em relação ao desempenho da empresa. Baseado nesta discrepância é que se faz necessária uma conotação diferenciada para a implantação de sistema de produção enxuta em empresas ocidentais, especialmente aquelas nitidamente organicistas.

O objetivo principal deste trabalho de pesquisa é o de avaliar a implantação de um sistema de produção enxuta neste tipo de sistema. Esta estrutura é marcada fortemente pela necessidade de agilidade, flexibilidade e velocidade em relação ao desenvolvimento de novos produtos e processo de manufatura. Uma análise dos

Sistemas de Produção Enxuta mostra que existem fortes tendências ao mecanicismo, visto que a utilização de métodos pré-definidos e tempos padronizados de processo são uma das premissas do sistema. A utilização do conceito do *takt time* como cadenciador entre a produção e a demanda é um bom exemplo disso.

A análise de sistemas organizacionais ocorrido na revisão bibliográfica foi suficiente para afirmar que mesmo inseridas em mercados turbulentos, as empresas organicistas necessitam de uma estrutura burocrática mínima para a preservação de uma ordem inicial. No modelo proposto, a Norma ISO 9001:2000 é a responsável por esta tarefa.

Outro aspecto analisado na revisão bibliográfica foi a relação entre a Norma e o conceito de Valor Agregado, elemento tido como fundamental para a eficácia de uma produção enxuta. Podemos afirmar que a Norma ISO 9001:2000 normatiza a questão do valor agregado, ou seja, a burocracia imposta assegura que as ações tomadas para o cumprimento das necessidades ocorrem em função da Voz do Cliente. Esse é o ponto de partida para a análise das medidas necessárias para a implantação de um SPE em uma estrutura complexa.

A questão das ferramentas necessárias para a manutenção de um SPE foi tema exaustivamente verificado. Normalmente se aplicam contramedidas para os possíveis desperdícios da produção, uma vez que esta adoção tem fortes relações determinísticas, do tipo causa-efeito. A utilização do trinômio “Incerteza, Imprevisibilidade e Variedade” nas ações propostas, mostra que análises mais profundas são necessárias.

O modelo proposto de análise permitiu verificar que as ferramentas e técnicas habituais de implantação de sistemas de produção enxuta devem ser avaliados com uma maior abrangência, visto que o ambiente a ser afetado pelas alterações é um sistema complexo. Estas medidas, num primeiro momento, atingem o objetivo esperado (como por exemplo, as ações iniciais dos 5's cumprem o objetivo inicial, que é a organização do posto de trabalho), mas não avaliam o impacto destas ações nas dimensões de um sistema complexo. Vimos que o 5's, num primeiro momento, reduz a incerteza, não afeta a imprevisibilidade, mas eleva a variedade.

As contramedidas encontram na maioria das vezes a figura humana como meio operacionalizador, ou seja, não bastam ações mecânicas na introdução, mas sim a análise das conseqüências destas ações. As implantações de um SPE em empresas tipicamente orgânicas merecem um estudo mais aprofundado, exatamente como verificado no decorrer deste trabalho de pesquisa.

O objetivo deste trabalho é o de avaliar as condições de adaptabilidade de um sistema de produção frente a ferramentas e técnicas usuais de implantação e manutenção de Sistemas de Produção Enxuta. Os resultados obtidos permitem afirmar que os preceitos da Teoria da Complexidade são eficientes na análise de impacto destas ferramentas quando aplicadas em um Sistema de Produção. A utilização do modelo proposto em um ambiente real de manufatura trouxe resultados válidos sobre a abrangência destas ações e também mostra que novas intervenções devem ser providenciadas no intuito de garantir a eficácia do sistema.

Em alguns momentos, este trabalho de pesquisa possibilita o desdobramento de determinados assuntos. A questão do impacto das contramedidas frente as três características de um sistema complexo foi um tema analisado de forma pontual,

visando tão somente a validação do método em um ambiente manufatura conhecido pelo autor. Uma avaliação mais abrangente deste impacto pode se tornar um interessante objeto de pesquisa. Outro ponto de interesse seria o de um estudo mais aprofundado relacionando a Norma série ISO 9000:2000 com a questão do valor agregado de bens e serviços. Uma aproximação entre a metodologia do SPE's, QFD, FMEA e a Norma ISO 9000:2000 poderia ser uma integração interessante na questão da determinação do valor agregado, visto a sua forte relação com Sistema de Produção Enxuto.



## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGOSTINHO, Márcia Esteves. Complexidade e Organizações. São Paulo: Editora Atlas, 2003. 142 p.

AKAO, Yoji. QFD, Past, Present and Future. International Symposium on QFD: Linköping, 1997.

ALUKAL, George. *Create a lean, mean machine*. Quality Progress, pg. 29-35, abril de 2003.

ANDRLE, Stephen. *Total Quality Management in Public Transportation*. Research Result Digest. Outubro 1994.

ASHBY, W. Ross. *An Introduction in Cybernetics*. Chapman & Hall, London, 1957. 295 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO9000:2000. São Paulo, 2000.

BALLARD, Glenn, KOSKELA, Lauri, HOWELL, Gregory, ZABELLE, Todd. Production System design in construction. In 9th annual conference of the International Group for Lean Construction. Anais. Singapura: National University of Singapore, Agosto, 2001.

BAMBER, L. DALE, B.G. *Lean production: a study of application in a traditional manufacturing environment*. *Production Planning & Control*. Vol. 11, n. 3, p. 291 – 298. 2000.

BAUER, Ruben. *Gestão da Mudança: Caos e Complexidade nas Organizações*. São Paulo: Atlas, 1999. 253 p.

BERTELSEN, Sven. Bridging the gaps – towards a comprehensive understanding of lean construction. In: Congresso Lean Construction. Anais. Proceedings IGLC-0: Gramado, 2002.

BEVILACQUA, Renato; CASTAÑO, Marcos Casado *et all*, Estratégias Adaptativas na Sociedade das Formigas. Revista SBA Controle & Automação Vol. 10 n.03, Set./Out./Nov./ Dez. 1999.

BEZERRA, Cícero. COELHO, Cristiane. Uma perspectiva dos Sistemas Adaptativos Complexos voltados às incubadoras de base tecnológica. Revista Brasileira de Administração. Vol. 12, n. 39, p. 36-44, dez. 2002.

BOLT, Andrew; MAZUR, Glenn. Jurassic QFD: Integrating Service and Product Quality Function Deployment. Anais. The eleven symposium of QFD: 1999.

BRANCO, Átila Araújo. A. Ativação de Elementos de Rede em Sistemas de Telefonia Móvel – Utilização da Sistemografia. Revista Eletrônica do Instituto de Informática, São Paulo, v. 1, n. 1, p. 1-19. 2003.

BRESCIANI, Ettore. Método de estudo de sistema : sistemografia. Revista Eletrônica do Instituto de Informática, São Paulo, v. 1, n. 1, p. 1-16. 2001.

BRUNO, Robert, JORDAN, Lisa. Lean Production and the Discourse of Dissent: Radicalizing the Shop Floor at Mitsubishi Motors? Revista Working USA. Vol. 6, p.108–134, n.1. *Summer* 2002.

CALDEIRA, Jorge. A história da usinagem que Máquinas e Metais acompanhou. Revista Máquinas e Metais, n. 465, p. 46-74. Outubro de 2004.

CAPRA, Fritjof. A teia da vida: uma nova compreensão científica dos sistemas vivos. 4. ed. São Paulo: Cultrix, 1999. 256 p.

CASTI, John. The Simply Complex. Disponível em: <<http://www.commodicast.com/d/010203%20the%20simply%20complex.pdf>>. Acesso em 21 abr. 2005.

CHAO, Lawrence P.; ISHII, Kosuke. Design process error proofing: challenges and methods in quantifying design elements. Tenth ISSAT International Conference on Reliability and Quality in Design. Anais. Las Vegas, Nevada, USA, 2004.

CHRYSLER. Potential Failure Mode and Effects Analysis (FMEA). Reference Manual. 2nd ed., Detroit, 1995.

COELHO, Christianne Coelho de Souza Reinisch. Complexidade e Sustentabilidade nas Organizações. 2001. Tese (Doutorado em Engenharia da Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina.

CORRÊA, Henrique L.; GIANESI, Irineu G. N. Just in time, MRP e MRP II e OPT : um enfoque estratégico. 2. ed. São Paulo: Atlas, 1993. 183 p.

CORREIA, Kwami Samora Alfama. Metodologia para diagnóstico de problemas e fatores causadores sob o enfoque da informação – matriz PCI. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Produção) – Universidade Federal de Itajubá.

CSILAG, João Mário. Análise de Valor. 5<sup>o</sup> ed. São Paulo: Atlas, 1995. 370 p.

D'AMBRÓSIO, Ubiratan. Transdisciplinaridade. São Paulo: Palas Athena, 1997. 176 p.

DANIEL, Esther, YUSSOF, Marohaini. Emergent Paradigm in Malaysian Qualitative Research. In: First International Congress of Quality Inquiry. Anais. Universidade de Illinois:2005.

DIAS, Taciana de Lemos Dias. Análise das funções das Organizações Públicas e de suas necessidades informacionais sob a ótica de sistemas viáveis. Revista IP – Informática Pública, ano 01, n.1, p. 47-62, jun. 1999.

DISÉRIO, Luiz Carlos ; DUARTE, André Luiz. Competindo em tempo e flexibilidade: um estudo das empresas brasileiras. Fundação Getúlio Vargas – EAESP. 2000. < [http://www.fgvsp.br/academico/professores/Di\\_Serio/competindo.pdf](http://www.fgvsp.br/academico/professores/Di_Serio/competindo.pdf)>. Acesso em 20 jan. 2005.

DOLAN, S. L., GARCIA, S., AULERBACK, A. Understanding and managing chaos in organization. International Journal of Management, vol. 20, n.1, p. 23 –35, mar. 2003.

EUBANKS, Charles F.; KMENTA, Steven; ISHII Kosuke. Advanced failure modes and effects analysis using behavior modeling. Proceedings of DETC'97 1997 ASME Design Engineering Technical Conferences and Design Theory and Methodology Conference. Anais. September 14-17, 1997, Sacramento, Califórnia.

EUREKA, Willian E. ; RYAN, Nancy E. QFD: perspectivas gerenciais do desdobramento da função qualidade. Rio de Janeiro: Qualitymark , 1992. 124 p.

FIATES, Gabriela Silveira. A utilização do QFD como suporte a implementação do TQC em empresas do setor de serviços. 1995. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina.

FREEDMAN, David. Management stills a science? Harvard Business Review. Boston, vol. 70, n. 6, p. 26-38, nov/dez.1992.

GEMBA. Disponível em: <http://www.gemba.com/consulting.cfm?id=146>. Acesso em: 20 mai 2005.

GHINATTO, Paulo. Sistema Toyota de Produção: uma compreensão partindo de conceitos e princípios fundamentais. In:Primeiro Congresso Internacional de Engenharia Industrial. Anais. ENEGEP'95 – Brasil, 1995.

GIL, Antonio Carlos. Como elaborar projetos de pesquisa. 3. ed. São Paulo: Atlas, 1991. 167 p.

GIOVANNINI, Fabrizio. As organizações e a complexidade; um estudo dos sistemas de gestão da qualidade. 2002. Dissertação (Mestrado em Administração) Universidade de São Paulo.

GLEICK, James. Caos: a criação de uma nova ciência. 8. ed. Rio de Janeiro: Campus, 1998. 310 p.

GLEISER, Ilan. Caos e Complexidade: A evolução do pensamento econômico. 1. ed. Rio de Janeiro: Campus, 1999. 281 p.

GOMES, Maria de Lurdes. Um modelo de nivelamento da produção à demanda para a indústria de confecção do vestuário segundo os novos paradigmas da melhoria dos fluxos de processos. 2002. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina.

GRASSI, Judas Tadeu. Ambiente empresarial brasileiro: mudanças, desafios e oportunidades. Revista FAE Business, n. 1, p. 1-5, novembro de 2001.

GREEN, S. D. The missing arguments of lean construction. Construction Management and Economics. N. 17, p.133 – 137. 1999.

GUAZZI, Dirceu Moreira. Utilização do QFD como uma ferramenta de melhoria contínua do grau de satisfação de clientes internos. 1999. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina.

HALL, Robert. H. Organizações: estruturas e processos. 3. ed. Rio de Janeiro: Prentice-Hall do Brasil, 1984. 260 p.

HATA, Tomoyuki *et al.* Representation of functional relations among parts and its application to product failure reasoning. Department of Precision Machinery Engineering, Tokyo, Japan, 2001.

HOLLANDS, K. ISO 9001:2000, is a business benefit? Acessado em 08/09/2005. [www.qualityaustralia.aq.org.au](http://www.qualityaustralia.aq.org.au).

HYDE, Paul, LANDRY, Edward, TIPPING, Andrew. O futuro do marketing. Revista HSM Management. n. 50, p. 64 – 72, mai./ jun. 2005.

IAROSINSKI, Alfredo ; CANCELIERI, Osiris. Elementos para “gerir” a complexidade dos sistemas de produção. In: XXIV ENEGEP Florianópolis, SC, Brasil. Anais. 03 a 05 de novembro de 2004.

IAROSINSKI, Alfredo. O controle e a autonomia na gestão de sistemas complexos. Anais do I EBEC – PUC-Pr – junho de 2005.

ISHIKAWA, Kaoru. Controle de qualidade total: à maneira japonesa. Rio de Janeiro: Campus, 1993. 221 p.

KANITZ, Stephen. Ordem ou Progresso? Veja, São Paulo, 3 abr. 2002. Disponível em: < <http://www.kanitz.com.br/veja/ordem.asp> > . Acesso em 30 mar. 2005.

KAPLAN, Robert, NORTON, David. A estratégia em ação: balanced scorecard. Rio de Janeiro: Campus, 1997. 344 p.

KMENTA, Steven; ISHII, Kosuke. Advanced FMEA using meta behavior modeling for concurrent design of products and controls. In: Proceedings of DETC '98 1998 ASME Design Engineering Technical Conferences. Anais. September 13 - 16, Atlanta, GA, 1998.

KMENTA, Steven; ISHII, Kosuke. Scenario-based FMEA: a life cycle cost perspective. Submitted to Proceedings of DETC 2000 ASME Design Engineering Technical Conferences. Anais. September 10 - 14, 2000, Baltimore, Maryland.

KUEHNE, Mauricio. O processo de desenvolvimento de fornecedor: um diferencial estratégico na cadeia de fornecimento. Revista FAE. Vol. 4, n. 3, set. / dez. 2001.

KOSKELA, Lauri. Application of the New Production Philosophy to Construction. Technical Report. n.72, Stanford University, Setembro 1992.

KUHN, Thomas. A estrutura das revoluções científicas. 5. ed. São Paulo, Perspectiva:1998. 257 p.

LE MOIGNE, Jean Louis. *La modélisation des systèmes complexes*. Paris : Bordas, 1990. 178 p.

LEITE, Maria Silene Alexandre. Proposta de uma modelagem de referência para representar Sistemas Complexos. 2004. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Santa Catarina.

LEAN INSTITUTE BRASIL. Léxico Lean: glossário ilustrado para praticantes do pensamento lean. São Paulo: Lean Institute Brasil, 2003. 98 p.

LIKER, Jeffrey. O modelo Toyota: 14 princípios de gestão do maior fabricante do mundo. Porto Alegre: Bookman, 2005. 316 p.

MACHADO, Ricardo; HEINECK Luis Fernando. Estratégia de produção para a construção enxuta. Universidade Federal de Goiás: 2000.

MASLOW, Abraham. Maslow no gerenciamento. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2000. 361 p.

MCCARTHY, Ian, RAKOTOBÉ-JOEL, Thierry, FRIZZELE, Gerry. Complex systems theory: implications and promises for manufacturing organizations. International Journal of Manufacturing Technology and Management. Vol. 2, p. 559 – 579, jan. 2000.

MELLO, Carlos Henrique; SILVA, Carlos Eduardo; TURRIONI, João Batista; SOUZA, Luiz Gonzaga. ISO 9001:2000, sistema de gestão da qualidade para a operação de produção e serviços. Editora Atlas São Paulo: 2002. 224 p.

MINTZBERG, Henry. Criando organizações eficazes: estruturas em cinco configurações. São Paulo: Editora Atlas, 1995. 304 p.

MOREIRA, M. P. ; FERNANDES, F. C. F. Avaliação do mapeamento do fluxo de valor como ferramenta da produção enxuta por meio de um estudo de caso. In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Anais. ENEGEP, 2001.

MORETTI, Diego de Carvalho; BIGATTO, Bruno Valente. Aplicação do FMEA: Estudo de caso de uma empresa do setor de transporte de carga. <<http://www.nortegubisian.com.br/artigos/fmea.pdf>> . Acesso em 08 mar. 2005.

MORGAN, Gareth. Imagens da organização. São Paulo: Atlas, 1996. 421 p.

MORIN, Edgar. A cabeça bem feita. 2. ed. Rio de Janeiro :Bertrand Brasil, 2000. 128 p.

MORIN, Edgar. Ciência com consciência. 5. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001. 344 p.

MOTTA, Fernando C. Prestes; PEREIRA, Luiz C. Bresser. Introdução à organização burocrática. São Paulo: Brasiliense, 1980. 310 p.

OHNO, Taiichi. O sistema Toyota de produção. Porto Alegre: Bookman, 2002. 149 p.

PAIVA, Wagner Peixoto. A teoria do caos e as organizações. Caderno de pesquisa em administração. Vol. 08, n.02, p. 85 – 96, abr./ jun. 2001.

PALADY, Paul. FMEA: análise dos modos de falha e efeitos: prevendo e prevenindo problemas antes que ocorram. São Paulo: IMAM, 1997. 270 p.

PEIXOTO, M.O.C. Uma proposta de aplicação da metodologia desdobramento da função qualidade (QFD) que sintetiza as versões QFD -estendido e QFD das quatro ênfases. São Carlos. 148p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo: 1998.

PEREIRA, M. O. Utilização de FMEA em processo de polimerização descontínua de poliéster. Escola Federal de Engenharia de Itajubá. Instituto de Engenharia Mecânica, Departamento de Produção. 2001.

PMI –MG. PMBOOK: Project Management Body Knowledge. Minas Gerais: PMI – MG, 2000.

PORTER, Michael. *Estratégia Competitiva: Técnicas para Análise de Indústrias e da Concorrência*. 9 ed. Rio de Janeiro: Campus, 1991. 362 p.

PRIGOGINE, Ilya. *As leis do caos*. São Paulo: Universidade Estadual Paulista, 2002. 109 p.

PRIGOGINE, Ilya. *O fim das certezas : tempo, caos e as leis da natureza*. São Paulo: Universidade Estadual Paulista - Campus Marília, 1996. 199 p.

RANSON, Stewart, HININGS, Bob, GREENWOOD, Royston. The Structuring of Organizational Structures. *Administrative Science Quarterly*. Vol. 25, p. 1 – 17, mar. 1980.

RIBEIRO, Marcos Wagner Souza. Análise de Sistemas de uma Instituição de Ensino Superior Usando a Sistemografia, *Revista Eletrônica do Instituto de Informática*, São Paulo. V.1, n.2, p. 2-22. 2002.

ROTHER, Mike; HARRIS, Rick. *Criando fluxo contínuo*. São Paulo: Lean Institute Brasil, 2002. 103 p.

ROTHER, Mike; SHOOK, John. *Aprendendo a Enxergar*. São Paulo: Lean Institute Brasil, 1999. 99 p.

SANTIAGO, Valter Augusto. *Mapeamento da cadeia de valor em um ambiente lean: um caso prático em uma empresa de manufatura*. Universidade Federal de Itajubá, Instituto de Engenharia Mecânica. Engenharia da Produção 2001.

SANTOS, Carlos Aparecido. *Produção enxuta: uma proposta de método para introdução em uma empresa multinacional instalada no Brasil*. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) Universidade Federal do Paraná.

SCOTT, Nick; JONHSON, Johnson; FRIZELLE, Gerry. The Lean Original Equipment Manufacturer as a Complex System. In: *Tackling Industrial Complexity: the ideas that make a difference*. Anais. 9-10 April 2002 at Downing College, Cambridge, UK.

SEBRAE - VIII Sondagem Industrial. Curitiba: FIEP, 2004.

SEGERSTEDT, Anders. Escape from the unnecessary – some guidelines for production management. *Production Planning & Control*. Vol. 10, n. 2, p 194 – 199. 1999.

SEMLER, Ricardo. *Virando a própria mesa*. 26 ed. São Paulo: Best Seller, 1988. 274 p.

SENAI, DN. *A família ocupacional de ferramenteiros e afins*. Brasília: Séries monografias ocupacionais, 2002. 76 p.

SENGE, Peter. A Quinta Disciplina: arte, teoria e prática da organização de aprendizagem. São Paulo: Best Seller, 1990. 352 p.

SHINGO, Shigeo. O sistema Toyota de Produção do ponto de vista da Engenharia da Produção. Porto Alegre: Artes Médicas, 1996. 291 p.

SILVA, Christian Luiz. Competitividade internacional da indústria de papel de imprimir e escrever brasileira sob a ótica da cadeia de valor. 2002. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção e Sistemas) Universidade Federal de Santa Catarina.

SIMÕES, Arlete; SILVA, César; SILVA, Carlos Eduardo, TURRIONI, João Batista. O Impacto da Certificação ISO 9000 na Burocratização da Empresas. In: XXIII Encontro Nacional de Eng. de Produção. Anais. Ouro Preto, MG, Brasil, 21 a 24 de out de 2003.

SLACK, Nigel. Administração da Produção. São Paulo: Editora Atlas, 1997. 726 p.

SMITH, Trevor. The future of Management System Standard. ISO Management System. p. 21 a 25, nov. / dez. 2002.

STACEY, Ralph. Complexity and Creativity in Organizations. San Francisco. Berret-Koehler Publishers, 1996. 310 p.

TAYLOR, Frederick Winslow. Princípios de administração científica. 8. ed. São Paulo: Atlas, 1990. 109 p.

THIMMIG, Rolando Antonio ; BRESCIANI, Ettore Filho. Reorganização do Sistema de Matrículas de uma Faculdade, Revista Eletrônica de Informática – PUC – São Paulo. Vol.1, n.1, p. 1 - 24 , 2002.

TUBINO, Dalvio Ferrari. Manual de Planejamento e Controle da Produção. São Paulo: Atlas, 2000. 230 p.

UHLMANN, W. U. Teoria geral dos sistemas: do atomismo ao sistemismo. Centro Interdisciplinar de Simeótica da Cultura e da Mídia: São Paulo 2002. 84 p.

UNITED STATES DEPARTMENT OF DEFENSE (USDoD), "Procedures for Performing a Failure Mode, Effects and Criticality Analysis", US MIL-STD-1629A, November 1980, Washington, DC.

VERMULM, Roberto. Estratégias Empresariais nos Anos 80: O setor de máquinas-ferramentas. Cadernos de Gestão Tecnológica. n.30, 86 p. Universidade de São Paulo. 2000.

VIEIRA, Valter Afonso. As tipologias, variações e características das pesquisas de marketing. Revista da FAE. Vol.5, n. 01, jan./ abr. 2002.



WERKEMA, Maria Cristina. As Ferramentas da Qualidade no Gerenciamento de Processos. 6<sup>a</sup> ed. Belo Horizonte: Editora de Desenvolvimento Gerencial, 1995. 108 p.

WOMACK, James. A mentalidade enxuta nas empresas. 4<sup>o</sup> ed. São Paulo: Campus, 1998. 427 p.

YIN, Robert. Estudo de caso: planejamento e métodos. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001. 205 p.