

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE A REDAÇÃO FINAL DA
TESE DEFENDIDA POR Rogério Monteiro

_____ E APROVADA PELA
COMISSÃO JULGADORA EM 02 / 03 / 98.



ORIENTADOR

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA**

Indicadores de Flexibilidade Industrial: Um Estudo de Casos

Autor: **Rogério Monteiro**
Orientador: **Geraldo Nonato Telles**
Co-Orientador: **Oduvaldo Vendrameto**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS**

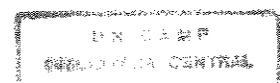
Indicadores de Flexibilidade Industrial: Um Estudo de Casos

**Autor: Rogério Monteiro
Orientador: Geraldo Nonato Telles
Co-Orientador: Oduvaldo Vendrameto**

**Curso: Engenharia Mecânica
Área de Concentração: Área de Materiais e Processos de Fabricação**

Dissertação de mestrado apresentada à comissão de Pós Graduação da Faculdade de Engenharia Mecânica, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica.

**Campinas, 1998
S.P. – Brasil**



UNIDADE	BC
N.º CHAMADA	111111111
V.	
T.º	34463
PRO	395/98
C	<input type="checkbox"/>
PREÇO	R\$ 11,00
DATA	18/03/98
N.º CPD	

CM-00113111-5

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

M764i Monteiro, Rogério
Indicadores de flexibilidade industrial: um estudo de casos. / Rogério Monteiro--Campinas, SP: [s.n.], 1998.

Orientadores: Geraldo Nonato Telles; Oduvaldo Vendrameto.
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica.

1. Eficiência industrial. 2. Produtividade industrial.
3. Sistemas flexíveis de fabricação. 4. Automação.
I. Telles, Geraldo Nonato. II. Oduvaldo Vendrameto.
III. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Mecânica. IV. Título.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS**

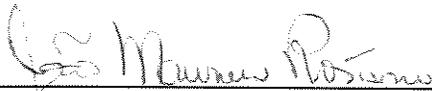
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**Indicadores de Flexibilidade Industrial:
Um Estudo de Casos**

Autor: Rogério Monteiro
Orientador: Geraldo Nonato Telles
Co-Orientador: Oduvaldo Vendrameto



Prof. Dr. Geraldo Nonato Telles
Faculdade de Engenharia Mecânica - FEM
Instituição: UNICAMP



Prof. Dr. João Mauricio Rosario
Faculdade de Engenharia Mecânica - FEM
Instituição: UNICAMP



Prof. Dr. Paulo A. Cauchick Miguel
Instituição: UNIMEP

Campinas, 02 de março de 1998

Dedicatória:

A meus pais
Alcir e Araci e,
em especial,
a Júlia.

Agradecimentos

Este trabalho não poderia ser efetivado sem a ajuda de diversas pessoas às quais presto minha homenagem:

Ao Professor Dr. Geraldo Nonato Telles pela paciência e incentivo, pelas oportunas e valiosas sugestões, e também por sua segura orientação que certamente contribuíram para o desenvolvimento desta pesquisa.

Ao Professor Dr. Oduvaldo Vendrameto, meu co-orientador, pelo constante incentivo, amizade e contribuição nos diversos momentos de dificuldades.

Aos professores Kamal, Batocchio, Agostinho e Sanchoy K. Das que estiveram sempre dispostos a colaborar, sugerir e incentivar.

Ao colegas Hilton, Robinson, Balsamo e Sérgio que contribuíram como vetores de acesso às companhias em que trabalham.

À Metafac, Krupp, Svedala Faço, SENAI-SCS, Steula e Burgmann, pela atenção gentilmente dispensada.

Aos colegas e funcionários da FEM, sempre prestativos e dispostos a ajudar quando requisitados.

Aos colegas do dia a dia, Alessandro, Claudemir, Celso, Daniel, Eduardo, Emerson, Elisa, Érica & Júnior, Márcia, Maria Júlia, D. Rute, e tantos outros que contribuíram, cada qual à sua maneira, ouvindo, sugerindo, apoiando e principalmente, tornando estes 24 meses mais agradáveis.

Ao CNPq pelo suporte financeiro.

Aos meus pais.

E naturalmente a Deus.

Resumo

MONTEIRO, Rogério, *Indicadores de Flexibilidade Industrial: Um Estudo de Casos*.

Campinas: Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 1998. 133p. Dissertação (Mestrado).

O crescente avanço tecnológico condicionou as empresas utilizarem recursos cada vez mais elaborados e as fábricas foram integradas em redes de computadores, aumentando em muito a velocidade do fluxo de informações sobre o sistema produtivo. A fábrica ganhou portanto, um perfil orgânico, integrado e bastante flexível, com capacidade de produzir elevada variedade de produtos mesmo em pequenas quantidades, ou seja, a fábrica tornou-se um exemplo de agilidade e versatilidade. No entanto, observa-se também um rápido e acentuado aumento da concorrência, com a empresa passando a competir em um mercado globalizado em que pequenas vantagens competitivas são fundamentais para garantir seu futuro no mercado em que atua. Esta concorrência acirrada juntamente com o ambiente em constantes mudanças forçam os empresários a buscarem o máximo de informações a respeito do processo e da organização como um todo. É neste sentido que aumenta o interesse, tanto na indústria quanto na área acadêmica, por indicadores capazes de refletir o nível de organização das empresas, o grau de automação das atividades, bem como os níveis de flexibilidade dos sistemas de manufatura. O presente estudo apresenta dez diferentes métodos de indicadores de desempenho e flexibilidade e compara suas características e aplicabilidade no ambiente real, como por exemplo, na análise do fluxo de materiais em uma célula de manufatura, no gerenciamento do chão de fábrica ou na administração geral de empresas, segundo a concepção específica para a qual foi criado. Serão abordados itens como fator característico do processo e teoria da medição da flexibilidade, contando com suporte bibliográfico, além de um estudo de caso em empresas da região de Campinas.

Palavras Chave

- Indicadores de desempenho, Medição de Flexibilidade, Automação.

Abstract

MONTEIRO, Rogério, *Indicadores de Flexibilidade Industrial: Um Estudo de Casos*. Campinas: Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 1998. 133p. Dissertação (Mestrado).

The growing technological progress conditioned the companies to use resources more and more elaborated. The factories have been integrated in nets of computers, increasing drastically the speed of the flow of information on the productive system. Therefore, factories has delivered an organic, integrated and quite flexible profile, with capacity of producing high variety of products even in small quantities, that is to say, factory became example of agility and versatility. However, it is also observed a fast and accentuated increase of the in a global market environment. Small competitive advantages are now fundamental to guarantee companies' future in the market place. This fiery competition together with constant changes have forced the managers to seek for obtaining maximum information of the process and the organization as a whole. In this sense, there is a growly interest, either industrial or academic in developing indicators capable of. reflecting the stage of. company organization, the degree of. automation as well as the level of. flexibility of. the manufacturing systems. The present study presents ten methods of automation indicators and compare their ability and application in case studies free the real environment, in the analysis of the flow of materials in a manufacturing cell, in the management of the shop floor or in the general administration of companies, according to the specific conception for which was created. Furthense, characteristic factor of the process and the theory of the flexibility assessment will be approached, supported by references in addition to a case study.

Key Words

- Performance indicator, Flexibility Measure, Automation.

Índice

CAPITULO 1

Introdução	1
1.1 - Generalidades	3
1.2 - Definições Gerais	4
1.3 - A Importância da Flexibilidade	7
1.4 - Estratégia para a Flexibilidade	8
1.5 - Relação entre Flexibilidade e Trabalho	10
1.6 - Teoria e Prática	12
1.7 - Estrutura da Tese	14

CAPÍTULO 2

Revisão Bibliográfica	16
------------------------------	----

CAPÍTULO 3

Tecnologias Aplicadas no Ambiente Fabril	27
3.1 - Sistemas Produtivos	27
3.2 - Tecnologia de Grupo	29
3.3 - Manufatura Integrada por Computador	31
3.3.1 - A hierarquia do CIM	32
3.4 - Atividades de Planejamento de Processo	32
3.4.1 - Conceito de <i>Features</i>	33
3.5 - Sistemas Facilitadores	34
3.6 - Engenharia Simultânea	36
3.7 - Sistema de Custeio ABC	37
3.8 - Tendências e Necessidades	38
3.8.1 - Sistemas de Apoio a Decisão	40
3.9 - Conclusão do Capítulo	41

CAPÍTULO 4

Avaliação Experimental	42
4.1 - Método dos Níveis Múltiplos	44
4.1.1 - Flexibilidade de Máquina	46
4.1.2 - Flexibilidade de Rotina	49
4.1.3 - Flexibilidade do Processo	52
4.1.4 - Flexibilidade do Produto	54
4.1.5 - Flexibilidade de Volume	57
4.2 - Conclusão do Capítulo	59

CAPÍTULO 5

Otimização do Método e Resultados	61
5.1 - Levantamento de Dados	61
5.1.1 - Levantamento de Dados da Instalação 1	62
5.1.2 - Análise do Dados Obtidos da Instalação 1	66
5.1.3 - Levantamento de Dados da Instalação 2	67
5.1.4 - Análise dos Dados Obtidos da instalação 2	70
5.2 - Otimização do Método	70
5.3 - Resultados Obtidos	83
5.4 - Testes de Cenários	87
5.4.1 - Cenário Otimista	88
5.4.2 - Cenário Pessimista	91
5.4.3 - Resultados das Simulações	93

CAPÍTULO 6

Conclusão e Sugestões para Próximos Trabalhos	103
Referências Bibliográficas	106
Bibliografia Consultada	112
Apêndice 1	114

Lista de Figuras

1.	Escopo de aplicação de um FMS	6
2.	Modelo do Fator de Transformação	21
3.	Principais relações do Sistemas de Manufatura	22
4.	Exemplo de economias implantação da Tecnologia de Grupo	31
5.	Teoria dos Estágios	39
6.	Representação gráfica dos cinco níveis de medição de flexibilidade	45
7.	Medida de flexibilidade de volume com custo de produção linear	58
8.	Flexibilidade de Máquina para as instalações 1 e 2	98
9.	Flexibilidade de Rotina para as instalações 1 e 2	99
10.	Flexibilidade de Processo para as instalações 1 e 2	100
11.	Flexibilidade de Produto para as instalações 1 e 2	101
12.	Flexibilidade de Volume para as instalações 1 e 2	102

.....

Lista de Tabelas

1 - Dados para o Modelo de Integração Estrutural	23
2 - Fases da Engenharia Simultânea	36
3 - Mudanças Externas relativas a Instalação 1	63
4 - Causas das mudanças externas (Instalação 1)	64
5 - Mudanças Internas relativas a Instalação 1	64
6 - Causas das mudanças internas (Instalação 1)	65
7 - Mudanças Externas relativas a Instalação 2	68
8 - Causas das mudanças externas (Instalação 2)	68
9 - Mudanças Internas relativas a Instalação 2	68
10 - Causas das mudanças internas (Instalação 2)	69
11 - Eficiência das Máquinas (e_{ij}) da Instalação 1	72
12 - Rotina de Produção ($Z_{k,r,t}$) da Instalação 1	72
13 - Rotas de manufatura dos produtos ($P_{k,r,j}$) da Instalação 1	72
14 - Diferenciação dos Produtos da Instalação 1	72
15 - Dados para Flexibilidade de Produto e Volume da Instalação 1	72
16 - Eficiência das máquinas (e_{ij}) da Instalação 2	73
17 - Rotinas dos produtos ($Z_{k,r,t}$) da Instalação 2	73
18 - Rotinas de Fabricação dos Produtos ($P_{k,r,j}$) da Instalação 2	73
19 - Diferenciação de produtos da Instalação 2	73
20 - Dados para Flexibilidade de Produto e Volume da Instalação 2	73
21 - Eficiência $e_{ij} \geq q$	74
22 - Utilização de máquina segundo o produto e operação	75
23 - Valores de $X_{i,j,t}$	76
24 - Relação entre operação e subperíodo	77
25 - Valores de $D_{k,r1,r2}$	76
26 - Valores de $\eta_{k,r}$	76
27 - Somatório de $D_{k,r1,r2}$ e $\eta_{k,r}$	78
28 - Valores de $\rho_{k,t}$	79
29 - Valores de $Mach_{k1,k2}$	80
30 - Valores de $E_{k1,k2}$	80
31 - Quadro comparativo de rotinas	81
32 - Valores de MFLX para as Instalações 1 e 2	83
33 - Valores de RFLX para as Instalações 1 e 2	84
34 - Valores de CFLX para as Instalações 1 e 2	85
35 - Valores de PFLX para as Instalações 1 e 2	86
36 - Valores de VFLX para as Instalações 1 e 2	87
37 - Eficiência de máquina no cenário otimista para Instalações 1 e 2	88
38 - Valores de P_{kij} no cenário otimista para as Instalações 1 e 2	89
39 - Custo e tempo para novos produtos no cenário otimista para as instalações 1 e 2	90
40 - Novos produtos e capacidade de utilização no cenário otimista (instalações 1 e 2)	90
41 - Eficiência de máquina no cenário otimista para Instalações 1 e 2	91
42 - Valores de P_{kij} no cenário pessimista para as Instalações 1 e 2	92
43 - Capacidade de utilização no cenário pessimista para as instalações 1 e 2	93
44 - Dados da Instalação 1 para o cenário otimista	94
45 - Dados da instalação 2 para o cenário otimista	95
46 - Dados da Instalação 1 para o cenário pessimista	96
47 - Dados da Instalação 2 para o cenário pessimista	97
48 - Quadro geral dos resultados obtidos	98

.....

Nomenclatura

Letras Gregas

- α_s - Porcentagem máxima aceitável de tempo que pode ser suportado no *setup*
- α_H - Porcentagem máxima aceitável de custo que pode ser suportado no *setup*
- β - Referente à situação atual da instalação, sendo constituído por diversos elementos característicos das instalações produtivas, tais como rotina de produção, nível de força de trabalho ou troca de ferramenta
- Ψ_R - Referente ao conjunto dos diferentes β que a instalação precisa alcançar através de um conjunto de mudanças
- Ψ_C - Referente ao conjunto estados que a instalação está equipada para alcançar
- $\eta_{k,r1}$ - Eficiência da rotina r_1 para o produto k
- $\rho_{k,t}$ - Flexibilidade Real de Rotina do produto k no subperíodo t
- $\xi_{k1,k2}$ - Conjunto de máquinas visitadas por ambos os produtos $k1$ e $k2$
- $\Delta\text{Habil}_{k1,k2,j}$ - Diferença na habilidade do trabalhador ou requisitos de precisão do equipamento/máquina entre os produtos $k1$ e $k2$ na máquina j
- $\Delta\text{Mach}_{k1,k2}$ - Diferença do tempo de processamento de dois produtos
- $\Delta\text{Oper}_{k1,k2,j}$ - Diferença no processamento das operações para se fabricar os produtos $k1$ e $k2$ na máquina j
- $\Delta\text{Prod}_{k1,k2,j}$ - Diferença de natureza física dos produtos $k1$ e $k2$ na perspectiva da máquina j
-

Abreviações

- ABC - *Activity Based Costing*
- CAD - *Computer Aided Design*
- CAM - *Computer Aided Manufacturing*
- CAPP - *Computer Aided Process Planning*
- C_E - Custo para operar a instalação original em V_{BE}
- CFLX - Flexibilidade do Processo
- $CFLX_{cap}$ - Capacidade de Flexibilidade de Processo
- $CFLX_{T,act}$ - Flexibilidade Real do Processo
- C_H - Custo para operar a instalação hipotética a 100 % de utilização
- CIM - *Computer Integrated Manufacturing*
- CFM - Célula Flexível de Manufatura
- CMC - Célula de Manufatura Convencional

CNC	- Controle Numérico Computadorizado
$D_{k,r1,r2}$	- Diferença entre duas rotinas, $r1$ e $r2$
e_{ij}	- Eficiência que a máquina j desempenha a operação i
EC	- External Change (Mudança Externa)
IC	- Internal Change (Mudança Interna)
$E_{k1,k2}$	- Diferença entre dois produtos
FMS	- <i>Flexible Manufacturing System</i>
FT	- Fator de Transformação do Sistema Produtivo
$h_{k,t}$	- Número de rotas diferentes pelas quais o produto k é manufaturado no subperíodo t
H_{new}	- Custo médio de preparação da instalação para a produção de um novo produto
H_{std}	- Custo total despendido à produção durante o intervalo de tempo padrão (T_{std})
i	- 1, ..., N operações de manufatura a serem desempenhadas na instalação
j	- 1, ..., M , Máquinas na instalação
k	- 1, ..., L , Produtos a serem manufaturados na instalação
LTC	- Linha de Transferência Convencional
LTS	- Linha Composta de Máquinas Semi Automáticas
MC	- <i>Manufacturing Competence</i>
MFLX	- Machine Flexibility
$MFLX_{cap}$	- Capacidade de Flexibilidade de Máquina
$MFLX_{T,act}$	- Flexibilidade Real da Máquina
Q_t	- Número de novos produtos adicionados em cada subperíodo
NC	- <i>Numeric Control</i>
PFLX	- Flexibilidade de Produto
$PFLX_{cap}$	- Capacidade de Flexibilidade de Produto
$PFLX_{T,act}$	- Flexibilidade Real do Produto
$P_{k,r,j}$	- Tempo de processamento do produto k na máquina j quando fabricado via rota r
PLC	- <i>Program Logic Control</i>
q	- Eficiência mínima considerada satisfatória ou aceitável
r	- 1, ..., R Rotinas pelas quais os produtos podem ser manufaturados
RC	- <i>Robotic Control</i>
RFLX	- Flexibilidade de Rotina
$RFLX_{cap}$	- Capacidade de Flexibilidade de Rotina
$RFLX_{T,act}$	- Flexibilidade Real de Rotina
SAD	- Sistemas de Apoio a Decisão
SFM	- Sistema Flexível de Manufatura
SM	- Sistema de Manufatura
SMP	- Sistema de Medição de Performance
S_{new}	- Tempo de preparação da instalação para a produção de um novo produto

SPAT	- Sistemas de Programação Automática para Tonos
SSGPP	- Sistema Semi-Generativo de Planejamento de Processos
TG	- Tecnologia de Grupo
T_{std}	- (<i>Standard time interval</i>) - Intervalo de Tempo Padrão
U_1	- Importância percentual assumida para o custo de <i>setup</i>
U_2	- Importância percentual assumida para o custo de <i>setup</i>
V_{BE}	- (<i>Breakeven Volume</i>) Capacidade de utilização mínima da instalação original
VFLX	- Flexibilidade de Volume
$VFLX_{cap}$	- Capacidade de Flexibilidade de Volume
$VFLX_{T,act}$	- Flexibilidade Real de Volume
VHI_t	- (<i>Highest capacity utilization in t</i>) Máxima Capacidade de Utilização no subperíodo t
VLO_t	- (<i>Lowest capacity utilization in t</i>) Mínima Capacidade de Utilização no subperíodo t
V_{min}	- Volume mínimo acima do qual a instalação é econômica
$x_{i,j,t}$	- Variável binária, que indica o instante t que a operação i é realizada na máquina j
$Z_{k,r,t}$	- Variável binária que indica o instante t que o produto k é manufaturado via rota r
W1, W2, W3, W4	- Importância de cada critério de diferenciação do produto Operação, Habilidade, Produção e Máquina, respectivamente

.....

Siglas

CNPq	- Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
DEMA	- Departamento de Engenharia de Materiais
FEM	- Faculdade de Engenharia Mecânica
PNQ	- Fundação Prêmio Nacional da Qualidade
UNICAMP	- Universidade Estadual de Campinas

.....

Capítulo 1

Introdução

A manipulação de materiais e objetos na tentativa de transformá-los em bens de consumo para uso individual ou coletivo praticamente acompanha a história do Homem na face da Terra. Desde os primórdios de sua existência o homem conseguiu utilizar-se das mãos para produzir utensílios que o ajudassem em sua sobrevivência, na busca de alimentos e na sua proteção.

Há duzentos anos, o principal personagem da manufatura de produtos era o artesão. Trabalhando em suas próprias casas ou reunidos em galpões, eram responsáveis por todas etapas da produção de um produto, desde a extração da matéria prima, seu beneficiamento, etapas intermediárias e, finalmente, o produto acabado. Todo este processo resultava em produtos com características unitárias, bem como alto nível de identificação com o artesão, porém, a preços bastante elevados, de modo que poucos tinham condições de consegui-los.

Com o advento da Revolução Industrial inicia-se o período da Mecanização. Neste período, invenções como a máquina de fiar, de tear e o motor a vapor foram exemplos do salto tecnológico da época. Estas inovações trouxeram consigo o aumento da produtividade e, por outro lado, provocaram muitas preocupações para os trabalhadores das fábricas, que temiam perderem seus empregos. Apesar do descontentamento dos trabalhadores, os inventos se sucederam e com eles vieram as fábricas totalmente organizadas. Muitas manifestações de repúdio às máquinas foram realizadas nesta fase, como por exemplo, o movimento dos

luditas¹ na Inglaterra e a Sabotagem², na França. Com relação ao movimento dos luditas, registra-se que em 1811 as revoltas eram dirigidas contra manufatureiros cuja riqueza rapidamente adquirida ou cujo rigor despertavam a cólera popular (MANTOUX, 1988 e MORI, 1987).

No período da industrialização, os capitalistas enfrentaram grandes problemas relativos a administração da mão de obra que era, em sua maior parte, desqualificada, originária do campo em busca de trabalho na indústria e melhores condições de vida nas cidades. Destaca-se desta época Frederick Taylor que em 1911 desenvolveu a Divisão Científica do Trabalho (TAYLOR, 1966).

Já no século XX, o avanço tecnológico foi bastante acelerado devido as Guerras Mundiais e, posteriormente, a Guerra Fria. A corrida armamentista, e espacial aceleraram o desenvolvimento tecnológico.

Em 1968 o americano Ted Hoff inventou o microprocessador e posteriormente, em 1971, desenvolveu um chip para produção em massa, o 4004. Era dado assim o início da Revolução dos microprocessadores (ISTO É & THE TIMES, 1994).

Com as descobertas no campo da microeletrônica, a tecnologia de informática tem sido ampliada, viabilizando a associação de equipamentos eletromecânicos com controles eletrônicos. Estes avanços possibilitam o desenvolvimento de novos maquinários, dando origem aos equipamentos de automação da manufatura como descreve FERREIRA (1987).

Em paralelo com o avanço da microeletrônica, verifica-se o rápido desenvolvimento dos sistemas de telecomunicações, responsáveis pela alavancagem do fenômeno mundial, conhecido como Globalização de Mercados. A Globalização de Mercados trouxe consigo paradigmas reconhecidos internacionalmente como fundamentais. Desta forma, Qualidade e produtividade são hoje preocupações correntes em todo o mundo.

¹ O termo ludita vem do aprendiz industrial de nome *Ned Ludlam* (1779) que após receber uma repreensão de seu patrão, destruiu os teares da fábrica utilizando-se de um martelo, daí o termo luddismo ou ludita.

² SABOTAGEM: (do francês *sabot*) Tamanco, casca. Para sabotar as máquinas os trabalhadores colocavam um tamanco nas engrenagens.

O Contexto mundial caracteriza-se por mudanças tão radicais e tão rápidas que uma década parece distinguir-se da outra mais que, no passado, um século de outro. A tecnologia abre novas perspectivas, permitindo um acentuado aumento na oferta de bens e serviços.

1.1 Generalidades

Grandes incrementos na produtividade do trabalho vêm sendo atingidos através da automação microeletrônica. Estes benefícios não se encerram no aumento da produtividade. A qualidade do produto é melhorada devido a uniformidade da produção, elimina-se perdas, refugos e tempos mortos, permitindo uma nova gestão de recursos humanos, físicos e financeiros. Ocorre também o aumento da flexibilidade do processo de fabricação, aproximando a produção da demanda de mercado, o que elimina as despesas incorridas de estoques desnecessários.

Em FELDMANN (1988) estuda-se com bastante profundidade a relação entre inovações tecnológicas e suas conseqüências na sociedade. O trecho abaixo demonstra claramente esta relação:

“Desde a criação do computador sabia-se que ele poderia eliminar empregos. Até há poucos anos isso dificilmente ocorreu. No entanto, esse quadro está se modificando pois não só o computador, mas outros equipamentos automatizados mais recentes, como o robô, estão sofrendo quedas de preços de forma muito rápida, e deverão se transformar em produtos de massa em no máximo 10 anos”.

Sugere ainda que devido a capacidade praticamente ilimitada oferecida pelos microcomputadores, a Grande Revolução da Informática terá um impacto muito superior ao da Revolução Industrial, pois enquanto esta aumentou a capacidade física do homem, a Revolução da Informática está a aumentar-lhe a capacidade mental.³

³ Fazendo-se uma analogia com Sistemas Biológicos, se na Revolução Industrial o homem conseguiu o controle sobre o músculo (potência) na Revolução da informática o homem obteve o controle sobre o neurônio (informação).

Com relação ao impacto do avanço tecnológico sobre as formas de trabalho, observa-se nos dias atuais a preocupação por otimização de processos, tanto nos setores produtivos quanto prestadores de serviços. A redução de custos operacionais aliados às melhorias de desempenho, os quais são obtidos a partir de investimentos em informática, são agentes responsáveis pelo constante aumento da procura por estes tipos de soluções. Apesar do acentuado aumento da oferta de produtos e serviços de informática observada nos últimos anos, constata-se que os custos para a obtenção desta tecnologia são ainda hoje bastante elevados, fazendo com que muitas empresas fiquem à margem dos avanços tecnológicos.

1.2 Definições Gerais

Apresenta-se nesta seção, a definição de vários itens cuja função é facilitar o entendimento desta tese. Isto porque trata-se de um estudo que atravessa os limites da universidade, atingindo organizações produtivas desde a pequena à grande empresa, tanto familiar quanto a de capital aberto e por objetivar não apenas o acesso ao corpo técnico especializado como também de profissionais das diversas áreas do conhecimento que, ao depararem com a necessidade de gerenciar um processo produtivo, poderão utilizar-se dos parâmetros apresentados nesse tópico para classificar suas condições de trabalho.

Encontra-se em SALERNO (1992), AGOSTINHO (1995) e GROOVER (1980) importantes definições que serão úteis para uma melhor compreensão deste estudo, conforme citadas abaixo:

Mecanização: Substituição da força animal pela força da máquina. Pode ser definida como sendo a tecnologia destinada à substituição dos atributos físicos do homem. Assim, se o transporte de materiais e o acionamento motor de um equipamento são feitos a partir de energia não animal (vapor, eletricidade, óleo, etc.), diremos que houve mecanização;

Automação: Quando o equipamento executa uma seqüência de operações sem a intervenção direta do homem. É definida também como uma tecnologia destinada à substituição ou auxílio ao esforço mental humano. Exemplificando, os gabaritos que equipam os tornos copiadores substituem a decisão mental do homem de recuar as ferramentas de corte durante operações de torneamento. Automação é um termo muito utilizado atualmente

devido ao impacto que provoca no contexto social e industrial, podendo ser conceituada como sendo a tecnologia que diz respeito à aplicação de mecanismos complexos, eletrônicos e sistemas baseados em computadores na operação e controle da produção. Podemos encontrar dois tipos de automação:

a) Automação Rígida ou Fixa: Ocorre em situações em que é muito difícil mudar a seqüência de operações. Com base técnica predominantemente mecânica e eletromecânica, a mudança da seqüência implica alteração física do equipamento, demorada e de alto custo. Nestas condições, tal tipo de automação é usada para produção em alta escala de produtos padronizados (ou com variações muito pequenas), e as máquinas já são pensadas para um tipo de produção específica. As características típicas desse sistema são: Elevado investimento inicial, alta taxa de produção (adequado para demanda de alto volume), as operações em sua seqüência são geralmente simples, a integração e coordenação de muitas operações numa única peça no equipamento faz com que o sistema seja complexo, baixa flexibilidade (as mudanças no processo para adequar mudanças no produto são difíceis e onerosas). Exemplos de automação rígida: Linhas de Transferência e linhas automáticas de montagem (não programáveis).

b) Automação Flexível ou Programável: Trata-se de situações em que é relativamente mais fácil mudar a seqüência de operações. Lastreada principalmente na base técnica eletrônica e, mais recentemente na microeletrônica, a seqüência de operações pode ser mudada via programa de computador que controla o movimento ou as funções do meio de trabalho. Pode-se dizer que a automação flexível é conseguida através do acoplamento das máquinas com os computadores e a informática. Assim, todas as questões que envolvem a informática estão diretamente relacionadas com a automação flexível microeletrônica.

Flexibilidade: É a habilidade que um Sistema de Manufatura possui de dominar as mudanças efetivamente. Independentemente do tamanho, nível de automação ou outros fatores, um Sistema de Manufatura é considerado flexível somente quando um ou mais de seus componentes possuírem os atributos físicos desejáveis, como por exemplo, a habilidade de processar diferentes tipos de peças/componentes, respostas rápidas, múltiplas rotinas e variedade de controles.

Sistema Flexível de Manufatura: A literatura também define um SFM como sendo um Sistema de Manufatura que apresenta um certo grau de flexibilidade nos seus processos. Esta flexibilidade é alcançada pelo uso de máquinas-ferramenta a Controle Numérico Computadorizado (CNC) e de um Sistema de Transporte e Manuseio de Materiais Automatizado, sob a supervisão de um Sistema de Controle Computacional.

TACLA & TAZZA (1995) descrevem o termo Sistema Flexível de Manufatura como sendo a descrição geral de um sistema de manufatura que é economicamente renovável quando produz um número médio de tipos de peça a volumes médios. Volume médio designa uma faixa de dezenas a centenas para tipo de peça e de milhar a dezena de milhar para volume de produção. A *Figura 1* mostra o propósito da aplicação do FMS.

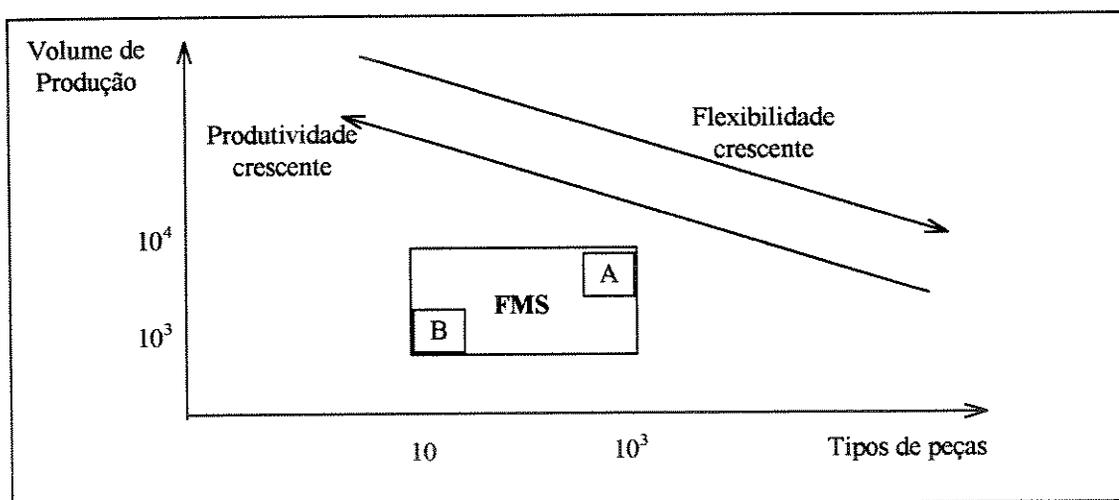


Figura 1: Escopo de aplicação de um FMS (TACLA & TAZZA, 1995, p.228.)

Nota-se que os valores finais para o intervalo de volume e de tipos de peças estão fortemente relacionados à similaridade de manufatura dos tipos de peças. De outra forma, um grande número de diferentes tipos de peças podem ser produzidos em altos volumes (região A da *Figura 1*), se existir uma grande similaridade nos planos de processo das peças. A região B mostra a situação onde se produz uma pequena variedade de tipos de peças com consideráveis diferenças entre os planos de manufatura.

1.3 A Importância da Flexibilidade

Tendo em vista os grandes avanços ocorridos na tecnologia de manufatura a partir dos anos 70, a preocupação com a veracidade dos indicadores de desempenho vem aumentando gradativamente. Por estar diretamente ligado a fatores econômicos, esta área de interesse vem conseguindo aproximar as instituições de pesquisa e as empresas.

Para SALERNO (1992), as constantes mudanças no mundo da produção de bens e serviços podem ser consideradas partes integrantes da chamada terceira revolução industrial que está em curso e pode ter profundo alcance na divisão internacional do trabalho, na redistribuição da produção entre diferentes unidades produtivas e nas próprias formas de execução efetiva da atividade de trabalho..

Tais inovações têm sua lógica derivada de um contexto social, político e econômico marcado pelas crises financeiras, de mercado e social que emergem nos anos 60 / 70, e colocam para as empresas novas necessidades de integração e de flexibilidade. Surge então o paradigma da empresa integrada e flexível, contrapondo-se àquele da empresa “taylorista-fordista”.

Estes novos paradigmas trazem consigo aspectos organizacionais decisivos em tópicos como rápido atendimento ao mercado, aumento do giro de capital, redução de estoques e de custo financeiro, capacidade de lançar produtos inovadores, abrindo novos nichos de mercado.

Neste contexto, considera-se necessária a concentração de esforços naquilo que é vantagem competitiva da empresa. Concentrar o foco das atividades de cada unidade ou instalação, reduzindo o número de processos de transformação, tendendo a unidades produtivas menores, mais especializadas, direcionadas para agregar valor aos produtos e, mais facilmente gerenciáveis.

A redução do ciclo de vida dos produtos e o aumento do número de modelos e opções fazem com que os produtos tenham que ser, a vista do mercado, renovados em intervalos menores, com projeto rápido e que facilite a produção. Neste ponto, SALERNO (1996)

apresenta dois conceitos que vêm sendo utilizados frequentemente pelas empresas de manufatura.

Modularidade: Utilização de mesmos componentes para produtos diferentes.

Produtibilidade: Projeto visando facilitar a produção, por exemplo, encaixes ao invés de porca / parafusos, redução dos pontos de solda em veículos automotivos.

Ambos os conceitos acima citados são fundamentais para maximizar a utilização de sistemas CAD (*Computer Aided Design*) e para viabilizar uma produção mais automatizada.

1.4 Estratégia para a Flexibilidade

Considera-se de fundamental importância focalizar as possíveis estratégias gerenciais que propiciam a maximização do retorno sobre o investimento e a utilização da tecnologia de automação flexível de forma consciente dentro de uma organização, sob o risco de tornar o presente estudo incompleto.

PORTER (1992), considera que a tecnologia é um dos principais condutores da concorrência, desempenhando um papel importante na mudança estrutural da indústria, bem como na criação de novas indústrias. A transformação tecnológica é também um grande equalizador, acabando com a vantagem competitiva até mesmo de empresas fortificadas e instigando outras para a dianteira. Um número elevado das grandes empresas de hoje surgiram da capacidade de explorar as transformações tecnológicas.

A tecnologia está contida em toda atividade de valor em uma empresa, e a transformação tecnológica pode afetar a concorrência por seu impacto sobre quase todas as atividades. Cada atividade de valor emprega alguma tecnologia para combinar insumos adquiridos e recursos humanos com o objetivo de produzir algum produto final.

A tecnologia está contida não apenas em atividades primárias mas também em atividades de apoio. O projeto auxiliado por computador empregado no desenvolvimento de produtos e que está substituindo formas tradicionais de desenvolvimento de novos produtos, a tecnologia de sistemas de informação que oferecem a possibilidade de interação com

fornecedores durante o processo de compras, constituem exemplos de utilização da tecnologia nas empresas.

Os sistemas de informação são empregados em programação, controle, otimização, avaliação e em outras atividades. A recente e rápida transformação tecnológica nos sistemas de informação vem exercendo um impacto profundo sobre a concorrência e sobre as vantagens competitivas devido ao papel penetrante da informação na cadeia de valores.

As empresas normalmente se defrontam com uma escolha entre tentar aperfeiçoar uma tecnologia estabelecida para executar uma atividade de valor ou investir em uma nova. Assim, ao escolher tecnologias nas quais deverá investir, uma empresa deve basear suas decisões em um entendimento completo de cada tecnologia importante em sua cadeia de valores. Às vezes, para produzir progresso tecnológico basta esforço e investimento, em outros casos, avanços em subtecnologias⁴ podem permitir um aprimoramento na tecnologia existente.

Esforços para aperfeiçoar uma tecnologia mais antiga podem, por vezes ser em vão. Nestes casos, muitas vezes o melhor curso de ação é tentar descartá-la. A decisão de uma empresa para descartar sua própria tecnologia pode ser difícil, sobretudo se ela foi desenvolvida internamente, mas esta escolha pode ser essencial para manter a posição competitiva da empresa.

A escolha de tecnologias a serem desenvolvidas não deve restringir-se àquelas poucas em que existem oportunidades para grandes rupturas. Aperfeiçoamentos modestos em algumas das tecnologias na cadeia de valores, inclusive aquelas não relacionadas ao produto ou ao processo de produção, podem acrescentar um benefício maior à vantagem competitiva.

Além disso, aperfeiçoamentos cumulativos em muitas atividades podem ser mais sustentáveis do que uma ruptura perceptível, tornando-se um alvo fácil para imitações. O

⁴ Considera-se que na maioria dos produtos e atividades de valor estão envolvidas diversas tecnologias ou subtecnologias. Mudanças significativas em qualquer subtecnologia que entra em um produto ou em um processo podem criar novas possibilidades de combinação de forma a atingir grandes aperfeiçoamentos. Por exemplo, o advento da microeletrônica, uma subtecnologia que pode ser aplicada a muitas outras tecnologias, vem surtindo um efeito profundo em muitas indústrias, revelando possibilidades para novas combinações tecnológicas.

sucesso de empresas japonesas na tecnologia raramente se deve a rupturas, mas sim a um grande número de aperfeiçoamentos em toda a cadeia de valores.

1.5 Relação entre Flexibilidade e Trabalho

Os processos de fabricação podem ser extremamente diversificados conforme o ramo de indústria que esteja sendo analisado e, mesmo dentro de um único segmento industrial, os processos variam bastante de empresa para empresa. Em função deste fato, o qual não é tão latente no setor de serviços, no comércio ou nos bancos, a análise dos impactos da microeletrônica sobre a indústria deve ser feita por um ângulo mais genérico, no entanto, mais eficaz para a compreensão dos mesmos. A análise exige o exame individual das principais categorias de equipamentos e mecanismos que estão sendo utilizados para modernizar a indústria. Estas categorias são: robôs, equipamentos baseados em controle numérico, equipamentos voltados para o controle de processos e sistema CAD / CAM.

Segundo FELDMANN (1988) robôs são equipamentos programáveis projetados para mover peças ou materiais e para manejar ferramentas. Têm sido utilizados primordialmente na realização de tarefas repetitivas, simples, mas de alta precisão e na grande maioria das vezes em linhas de produção em série. O autor descreve as duas correntes principais de conceituação dos robôs: as correntes japonesa e a norte-americana.

O conceito japonês é mais amplo. Para os norte-americanos, muito daquilo que os japoneses consideram como robôs não passam de máquinas de controle numérico ou, como eles denominam: manipuladores automatizados. Basicamente, para os norte-americanos, para que um dispositivo possa ser considerado como um robô, é necessário que os seus movimentos possam ser definidos e comandados através de um programa de computador.

FELDMANN (1988) relaciona seis razões básicas para estimular o uso de robôs por parte das indústrias:

1. Poupar trabalho - O alto custo anual da mão-de-obra industrial nos países desenvolvidos faz com que o período de retorno do investimento em robôs seja altamente compensador;

2. Substituir o trabalhador em ambientes e condições adversas ou perigosas;
3. Tornar o sistema de produção mais flexível;
4. Obter produtos de qualidade superior;
5. Aumentar a produtividade;
6. Contribuir para atenuar escassez de trabalho especializado.

Por outro lado, a técnica de controle numérico visa automatizar as tarefas de adaptar as máquinas-ferramenta de uso universal aos padrões e especificações de peças e produtos diversos. Para isso, incorporam um conjunto de mecanismos eletromecânicos que controlam o seu funcionamento.

São usadas basicamente em máquinas-ferramenta simples, como furadeiras ou madriladoras. Em função dos avanços da microeletrônica, as ferramentas baseadas em Controle Numérico têm sofrido mudanças significativas que lhes têm viabilizado a realização de tarefas mais complexas.

Furos, contornos e detalhes são definidos com precisão em programas de computador, permitindo que lotes diversificados de peças sejam produzidos em menor tempo.

Além disso, é possível colocar diversas ferramentas sob o comando de um único computador de tal forma que este controle de operação do conjunto todo promova as devidas otimizações no uso das ferramentas e no consumo dos materiais. O Controle Numérico tem substituído o controle humano necessário nas máquinas-ferramenta. Os ganhos em qualidade têm sido notáveis, principalmente nas indústrias mecânica, metalúrgica e de material de transporte.

As principais indústrias que utilizam esses equipamentos são as indústrias aeronáutica, naval, automobilística, de autopeças e as indústrias produtoras de máquinas.

O controle de processos é mais um exemplo de atividade ou função que, com a microeletrônica, sofreu uma revolução na concepção e uso dos equipamentos típicos. Os sistemas para controle de processos baseados em componentes microeletrônicos se

difundiram de forma bastante acentuada nas indústrias onde os processos de produção por vezes são contínuos, os quais são, basicamente, siderurgia, química, petroquímica, farmacêutica, papel, vidro e cimento.

Com a incorporação dos microprocessadores nos dispositivos servo-mecânicos que faziam, até alguns anos atrás, o controle de processos, foi possível atingir um grau de otimização muito maior nas operações, além de tornar-se dispensável o uso de técnicas especializadas para avaliar as informações transmitidas pelos instrumentos de medição, bem como para controlar e operar esses servo-mecanismos.

1.6 Teoria e Prática

Para SCHUMPETER (1982) a cada período de ascensão advêm novos métodos de produção, novas formas de organização econômica, novos produtos e novos mercados. Além disso, surgem grandes aumentos nos volumes de mercadorias disponíveis para a comunidade. Terminada a ascensão, então a expansão regride durante a fase de declínio, mas a economia se ajusta à nova situação e consolida o terreno conquistado.

Durante a fase de ascensão, certas partes da estrutura econômica são destruídas de dentro para fora, enquanto novas estruturas são criadas em seu lugar. Este processo é denominado destruição criadora. E, embora as inovações fossem introduzidas principalmente durante os períodos de ascensão, a economia se empenhava durante o tempo restante em absorver os efeitos dessas inovações.

Em síntese, a habilidade e a iniciativa dos empresários, unidas às descobertas de cientistas e inventores, criam novas oportunidades para investimentos, crescimento e emprego. Os lucros decorrentes dessas inovações constituem o impulso para um novo surto de crescimento, servindo de fonte de inspiração para um grande número de imitadores. Alguns poucos destes inovadores farão lucros bastante altos, mas certamente isto não significa que todos os imitadores também sejam bem sucedidos. Aliás, muitos terão prejuízos. Há uma fase em que os lucros começam a diminuir até que sobrevenha uma recessão que pode ser seguida de depressão que perdurará até o começo de novo período de crescimento com uma nova onda de inovação técnica e de mudanças. Portanto, para SCHUMPETER

(1982) as inovações são a base do desenvolvimento econômico e costumam ocorrer em ciclos, segundo ele, a cada 50 ou 60 anos.

Segundo PASTORE (1997) a relação entre tecnologia e emprego é entremeada de fatores econômicos, institucionais e educacionais. A simples coincidência de avanços tecnológicos com o aumento do desemprego não é suficiente para provar a sua causa. As tecnologias voltadas para processos diminuem custos, o que em ambientes competitivos, reduz preços e libera forças que geram trabalho. Neste caso, a flexibilidade permite a prática de novas modalidades de trabalho (por projeto, subcontratação, em tempo parcial, teletrabalho etc.), o que não ocorre nos sistemas rígidos.

Para avaliar o efeito final das tecnologias não basta examinar a destruição imediata de empregos nos locais em que elas entram. É preciso investigar os efeitos do deslocamento da mão-de-obra e a criação de atividades e postos de trabalho em outros setores. Uma boa educação facilita a readaptação da mão-de-obra às novas tecnologias e aos empregos.

Se o emprego está difícil com tecnologias, seria catastrófico sem elas. No mundo atual, não há a menor possibilidade das empresas competirem fora dos avanços tecnológicos.

Retomando ao economista austríaco SCHUMPETER (1982), verifica-se ainda que a questão da inovação tecnológica é um fator essencial ao desenvolvimento do capitalismo, situando-a no centro dos acontecimentos.

RIFKIN (1996) acredita que os ganhos de produtividade permitidos pelas máquinas podem abrir para a humanidade uma nova era na civilização, apesar de reconhecer que em termos atuais, os avanços tecnológicos caminham no sentido contrário. Mais de 75% do trabalho manual feito por pessoas pode ser substituído por máquinas, e gradualmente estão sendo transferidos para elas. Ocorre que no passado, o excedente de mão-de-obra no campo e depois nas fábricas foram absorvidas pelo setor de serviços.

Para os dias atuais este deslocamento não é possível, porque o setor de serviços, com a chegada dos computadores, está sendo automatizado com rapidez crescente. E os empregos criados pela indústria da informação, que em tese deveriam absorver o excedente de mão-de-

obra, são relativamente poucos e elitizados. Estes empregos exigem qualificações culturais e intelectuais que estão muito acima do que a massa de desempregados da indústria e de serviços têm a oferecer.

RIFKIN (1996) considera que a ruptura fundamental em relação ao passado encontra-se na possibilidade do aumento da produção ser alcançado sem o aumento da mão-de-obra. Os novos produtos da era da informação podem ser colocados no mercado com o emprego de poucos técnicos qualificados e uma multidão de máquinas. Assim, mesmo que esses produtos criem novas ondas de consumo, elas serão atendidas por máquinas ou pequenas empresas com meia dúzia de funcionários superqualificados. O círculo virtuoso da produtividade que gerava empregos teria se tornado em círculo vicioso, no qual mais produtividade só produz desemprego. Portanto, conclui que a redução da semana de trabalho para 30 horas, acompanhada de incentivos fiscais governamentais para as empresas sejam as saídas no sentido de preservar e criar empregos.

Para encerrar este conjunto de reflexões sobre a tecnologia e emprego destaca-se SIMONSEN (1996), que considera o processo de globalização responsável pelo deslocamento de mão-de-obra de alguns setores para outros, mas não como sendo a causa do desemprego. Neste sentido, sustenta que incentivar os setores que absorvem grandes contingentes de mão-de-obra, como a construção civil e o turismo pode ser uma boa saída, além de considerar importante a reforma da legislação trabalhista, visando flexibilizar as relações trabalhistas.

1.7 Estrutura da Tese

Este capítulo apresentou breves considerações sobre o contexto atual referente aos aspectos organizacionais das indústrias, iniciando com definições de itens pertinentes ao assunto a ser tratado, passando por estratégia e questões sobre o trabalho na sociedade.

O capítulo 2 traz uma revisão da bibliografia, buscando situar o leitor dos recentes desenvolvimentos no campo de mensuração do desempenho de sistemas de manufatura.

O capítulo 3 de natureza básica, faz uma incursão ao mundo tecnológico, apresentando algumas das ferramentas em uso nas grandes corporações, as quais lhes proporcionam vantagens competitivas acima da média do mercado. Estas vantagens contribuem para manter a empresa em condições favoráveis em relação aos seus concorrentes.

O capítulo 4, denominado Avaliação Experimental, apresenta o método de mensuração da automação que será o assunto central desta pesquisa.

O capítulo 5 faz uma análise do método, apresentando em detalhes os resultados dos levantamentos de dados nas empresas, além de detalhar os procedimentos de otimização do método em planilha Microsoft® EXCEL FOR WINDOWS™. O capítulo encerra-se com a aplicação do modelo e testes em cenários advindos de situações reais.

Encerrando esta pesquisa, o capítulo 6 traz as principais conclusões derivadas do trabalho, além da apresentação de algumas proposições para trabalhos futuros.

Capítulo 2

Revisão Bibliográfica

A literatura traz diversas tentativas ao longo dos anos de medir-se o desempenho dos Sistemas de Manufatura. Este capítulo procura trazer ao leitor uma visão geral das recentes pesquisas desenvolvidas no campo da medição de sistemas de manufatura.

Cite-se inicialmente BATOCCHIO (1991), que objetivando definir um parâmetro para análise e avaliação do desempenho do nível organizacional e tecnológico do parque fabril de empresas do setor metal mecânico, analisa as atividades envolvidas na manufatura, as quais possibilitam a definição do Fator Característico do Sistema de Manufatura (Cs). As atividades consideradas foram as seguintes:

Transformação	Carga e Descarga
Transporte externo e interno	Estocagem e Suporte

Elabora-se uma série de considerações sobre questões de ordem organizacional e tecnológica, como por exemplo, quebra de máquina, falta de operador, falta de energia elétrica, troca de ferramenta, tipo de transporte utilizado, etc. O Fator Característico do Sistema de Manufatura (Cs) é definido como sendo a relação entre a somatória dos tempos de carga e descarga, transporte, *setups* e de tempos improdutivos de um determinado Sistema de Manufatura e o período correspondente à obtenção dos dados. Apresenta-se ainda os resultados da aplicação do Fator Característico em uma empresa do setor automobilístico onde analisa-se os diversos sistemas especificados a seguir:

SFM - Sistema de Manufatura Flexível	CMC - Célula de Manufatura Convencional
CNC - Torno a Controle Numérico	LTC - Linha de Transferência Convencional
CFM - Célula Flexível de Manufatura	LTS - Linha de Máquinas Semi Automáticas

O Fator Característico é menor para sistemas com maior nível de automação e organização, que têm boa adaptabilidade ao aumento do número de tipos de peças e são mais flexíveis. O Fator Característico do Sistema de Manufatura permite uma análise completa do sistema produtivo e pode ser utilizado como uma ferramenta gerencial para tomada de decisões relativas aos parâmetros que compõem este fator Cs.

GUPTA e BUZACOTT (1993) consideram que a vantagem principal da tecnologia FMS é sua flexibilidade. Esta característica permite a empresa de manufatura produzir diferentes tipos de produtos variando o tamanho do lote, com resultados econômicos que seriam alcançados apenas através do alto volume de uma automação dedicada. Estas economias são conseguidas pela redução do custo de *setup* e mudanças no arranjo físico, proporcionando a redução do tempo gasto nestas atividades. Realiza-se duas análises de investimento denominadas: Modelo de Demanda Determinístico e Estocástico com o objetivo de distinguir a necessidade de investimento em FMS.

GUPTA (1993), divide os princípios fundamentais da flexibilidade e as dificuldades encontradas na medição em quatro níveis, são eles: Máquina, Célula, Planta e Corporação. O autor desenvolve um equacionamento matemático baseado em fatores como máquina (M), capacidade (Q), e flexibilidade (K), aplicando seu Modelo de Medição de Flexibilidade.

LEBAS (1995) apresenta sua contribuição com uma medida de desempenho estruturada no sistema de Custeio Baseado em Atividades (ABC). Diversas considerações sobre “O Porque” e “O que” medir são realizadas. Considera-se os dados produtivos de uma instalação como sendo um acumulado do passado. Estes dados somente tornam-se informações úteis quando utilizados no processo de tomada de decisões. Analisa então, as diversas visões do sistema ABC, entre elas: Lógica de Custeio, Lógica de Causa, Lógica de Coordenação, Lógica de Engenharia Organizacional, Lógica de Direção, e conclui que medição e gerenciamento não se separam. Tal como um *loop*, medição e gerenciamento acompanham uma a outra em um processo interativo.

Na tentativa de prover a indústria com ferramentas e processos voltados para a auditoria de sistemas produtivos através da Medição de Desempenho, BITITCI (1995) considera que uma Medição de Desempenho deve ser utilizada como ferramenta gerencial para a estratégia e gestão a nível operacional. O autor desenvolveu seus trabalhos através de programas entre as Universidades de Liverpool , Loughborough e Strathclyde, e considera necessário um conjunto de performances que descrevam os diversos objetivos da empresa.

Apesar do considerável número de estudos publicados nesta área, existem ainda muitas empresas utilizando-se de sistemas de medição baseados no custo e nas práticas financeiras.

Todavia, devido estas técnicas serem muitas vezes calcadas em modelos antigos, elas falham ao retratar os objetivos dos negócios atuais. Mais recentemente, inovações como o sistema de Custeio Baseado em Atividades aperfeiçoou os métodos de alocação mas ainda não promoveu uma orientação estratégica.

BITITCI (1995) apresenta algumas características necessárias para um modelo de medição de desempenho, são elas:

- Sistemas de Medição de Desempenho devem ser pesquisados em um contexto amplo, abrangendo todos os aspectos de um empreendimento manufatureiro evitando sub utilização.
- Sistemas de Medição de Desempenho devem servir de veículo para desenvolver os objetivos e estratégias dos negócios através de todos os níveis de uma organização para maximizar a integração.
- Sistemas de Medição de Desempenho devem promover o melhoramento contínuo na mesma direção dos objetivos estratégicos do negócio.
- Sistemas de Medição de Desempenho devem facilitar o entendimento da estrutura e relações entre várias medidas de maneira a promover um gerenciamento consciente.

Na tentativa de prover a indústria com ferramentas e processos voltados para a auditoria de sistemas produtivos através da Medição de Desempenho, BITITCI (1995) considera que uma Medição de Desempenho deve ser utilizada como ferramenta gerencial para a estratégia e gestão a nível operacional. O autor desenvolveu seus trabalhos através de programas entre as Universidades de Liverpool , Loughborough e Strathclyde, e considera necessário um conjunto de performances que descrevam os diversos objetivos da empresa.

Apesar do considerável número de estudos publicados nesta área, existem ainda muitas empresas utilizando-se de sistemas de medição baseados no custo e nas práticas financeiras.

Todavia, devido estas técnicas serem muitas vezes calcadas em modelos antigos, elas falham ao retratar os objetivos dos negócios atuais. Mais recentemente, inovações como o sistema de Custeio Baseado em Atividades aperfeiçoou os métodos de alocação mas ainda não promoveu uma orientação estratégica.

BITITCI (1995) apresenta algumas características necessárias para um modelo de medição de desempenho, são elas:

- Sistemas de Medição de Desempenho devem ser pesquisados em um contexto amplo, abrangendo todos os aspectos de um empreendimento manufatureiro evitando sub utilização.
- Sistemas de Medição de Desempenho devem servir de veículo para desenvolver os objetivos e estratégias dos negócios através de todos os níveis de uma organização para maximizar a integração.
- Sistemas de Medição de Desempenho devem promover o melhoramento contínuo na mesma direção dos objetivos estratégicos do negócio.
- Sistemas de Medição de Desempenho devem facilitar o entendimento da estrutura e relações entre várias medidas de maneira a promover um gerenciamento consciente.

- Em um Sistema de Informação dinâmico, a conduta de determinados itens são influenciados pelo processamento de atividades subordinadas. Similarmente, em um Sistemas de Medição de Desempenho a conduta dinâmica da medida de desempenho é influenciada pelo processo de trabalho subordinado.

Três pontos de vista são considerados para a análise e projeto de um sistema de informação, são eles:

1. Visão do Processo - Modelando o processamento dos dados
2. Visão dos Dados - Modelando a estrutura dos dados
3. Visão de Controle - Modelando a dinâmica dos dados

Quando estas três visões são completamente dependentes definidas e consolidadas elas promovem uma análise completa do sistema. Qualquer sistema de informação pode ser analisado desta forma. O modelo proposto é denominado Sistema “*Foot-Print*” (Eixo triortogonal contendo cada uma das vistas acima). O sistema *Foot-Print* representa as características em termos de complexidade da relação entre os dados, dinâmica dos dados e processamento de dados, onde cada eixo representa o aumento da complexidade para cada uma das vistas. A seguinte hipótese é considerada para o estudo: Sendo o Sistema de Medição de Desempenho semelhante ao Sistema de Informação, o primeiro poderia ser modelado usando técnicas similares que as usadas na análise e modelamento dos Sistemas de Informações.

Em seu estudo, RON (1995) afirma que, apesar das medidas de enfoque econômico serem usadas para a descrição de sistemas de produção, elas resultam em conclusões errôneas. Por ser uma medida econômica, a produtividade não é uma medida ideal para determinar o desempenho dos Sistemas de Manufatura. O autor afirma que na prática, as medidas técnicas são inadequadas para determinar o desempenho técnico. Portanto, o autor introduz uma medida que considera nítida, oportuna e relevante para o Chão de Fábrica e operação dos departamentos. Esta medida poderá ser usada para comparar alternativas de projetos de sistemas de produção e de controle de projeto de produção. A *Figura 2* mostra a representação gráfica do método do Fator de Transformação do Sistema Produtivo (FT).

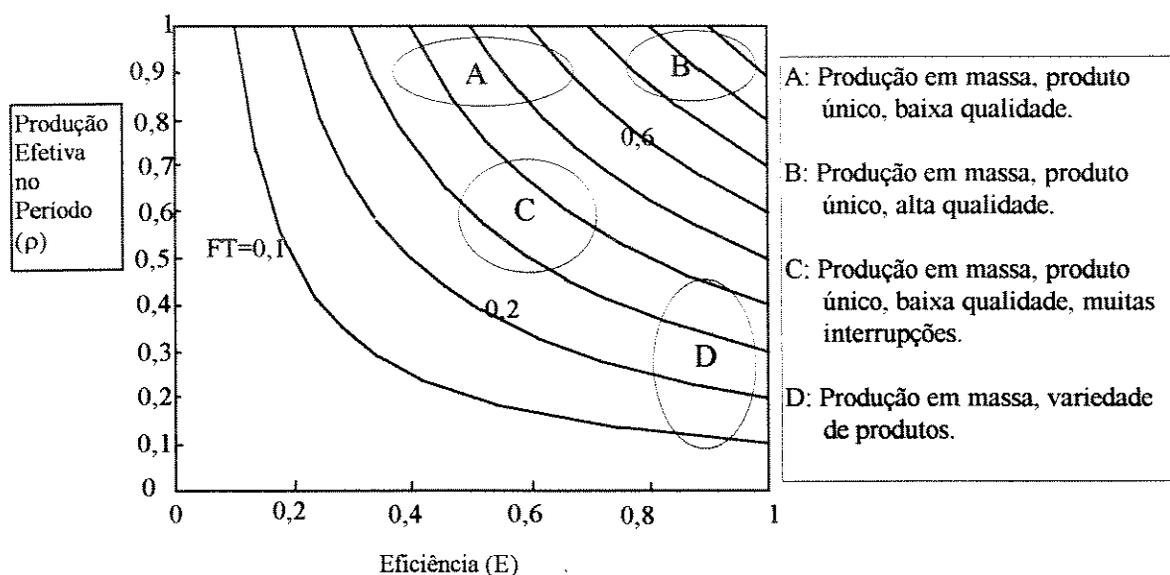


Figura 2: Modelo do Fator de Transformação (RON, 1995, p.153).

Esta medida é denominada Fator de Transformação. É definida como sendo o produto entre a média de produtos qualificados obtidos durante um considerado período T e a quantidade máxima de produtos com qualidade que pode ser produzida em uma situação ideal durante algum período. Apresenta-se abaixo algumas características do Fator de Transformação:

- Relação direta com a estratégia de produção
- Medida não financeira
- Simples e de fácil utilização, facilitando a monitoração e motivação de pessoas
- Rápido retorno das informações. Capaz de detectar e resolver rapidamente os problemas relacionados com a produção.

Além disso, o Fator de Transformação pode ser utilizado para comparar sistemas de manufatura, ferramenta conhecida como *benchmarking*.

A região característica na qual situar-se-á o sistema de manufatura pode ser indicada por diferentes circunstâncias de produção:

- O meio exterior determina os parâmetros de competitividade das empresas. Padrões esses que estão cada vez mais globalizados, de caráter mundial.

- A integração estrutural, pré requisito para se prover dos atributos de competitividade, representa um determinado estado de organização, caracterizado pela sinergia de fluxo das informações e pela capacidade de transitá-las em tempos adequados.

AGOSTINHO (1995), apresenta uma metodologia que tem por objetivo representar o Sistema de Manufatura, o qual, segundo o autor, é dividido em suas quatro atividades principais: Engenharia, Chão de Fábrica, Negócios e Suporte. O “Modelo de Integração Estrutural” assim denominado, parte do princípio que a integração do Sistema de Manufatura representa um estado de organização, refletido na capacidade de transitar informações sinérgicamente entre suas atividades e subatividades, de acordo com os conceitos de automação, seja rígida ou programável.

A automação será quantificada, para cada uma das subatividades, pelo valor do índice de automação, enquanto a origem dos eixos cartesianos representará automação nula, ou seja, as subatividades são feitas pelo homem. A *Figura 3* apresenta as quatro atividades principais do Sistema de Manufatura e as relações existentes entre elas.

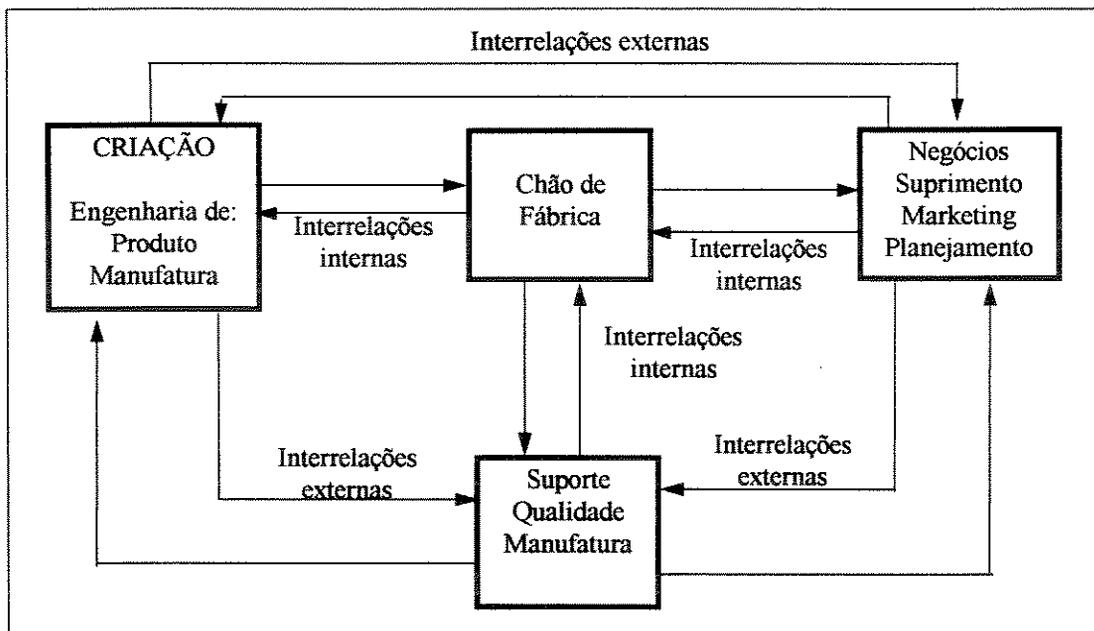


Figura 3: Principais relações do Sistemas de Manufatura (AGOSTINHO, 1995)

A *Tabela 1* relaciona as Atividades e suas respectivas subatividades requeridas no Modelo de Integração Estrutural.

Tabela 1: Dados para o Modelo de Integração Estrutural

Atividade	Subatividade
CHÃO DE FÁBRICA	Transformação de forma e característica
	Fluxo de Materiais
	Gerenciamento/controlado da informação
ENGENHARIA	Comunicação com o Chão de Fábrica
	Geração dos meios de manufatura
	Geração de Produto
NEGÓCIOS	Suprimento
	Planejamento
	Marketing
SUPORTE	Suporte à Operação
	Suporte às Facilidades (Instalações)
	Suporte à Qualidade

Cada atividade será representada por um gráfico triortogonal, de maneira que cada eixo representa uma subatividade. Os valores de cada subatividade variam de zero a cem por cento e indicam o grau de Automação Flexível em que se encontram.

Dependendo do critério de dimensionamento dessas subatividades, são empregados recursos de automação rígida ou programável na instalação produtiva.

DAS (1996) introduz o conceito de Níveis Múltiplos de medição (Necessidade, Capacidade, Situação Atual, Inflexibilidade e Otimização) aplicados aos diversos tipos de flexibilidades. Este conceito ajuda a separar as diferentes facetas da flexibilidade, e ainda pode ser usado para melhor retratar os objetivos do gerenciamento, controle da produção, projeto de sistemas e equipamento de manufatura. A medida proposta requer especificamente, na maior parte, dados facilmente encontrados em bancos de dados. No desenvolvimento das medidas de flexibilidade são considerados os seguintes parâmetros:

- Esforço despendido na mudança
- Desempenho do sistema
- Uma escala geral da diferença entre os 2 estados
- A combinação da medida de todos os três itens anteriores

Segundo DAS (1996), várias experiências foram realizadas com Sistemas de Manufatura Flexíveis em processos rápidos, tais como indústria de cosméticos, além de usinagem de metais e indústria de mobiliário, concluindo-se que a medida proposta é aceita na maioria das aplicações.

SUAREZ, CUSUMANO & FINE (1996), consideram a existência de quatro tipos de flexibilidade de primeira ordem, são elas:

- 1 - Flexibilidade do *mix* de produção
- 2 - Flexibilidade de volume
- 3 - Flexibilidade de novos produtos
- 4 - Flexibilidade de entrega

Neste caso, considera-se que os tipos de flexibilidade de primeira ordem são aqueles que afetam diretamente a posição de competitividade de uma empresa em relação ao mercado, ou seja, aquele tipo de flexibilidade realmente percebida pelo consumidor.

Neste caso, a estrutura do sistema baseia-se na entrada (*input*) que é representada pela flexibilidade de rotina, flexibilidade do sistema, flexibilidade dos componentes, entre outros, os quais são referentes aos fatores internos do sistema de manufatura, que os autores denominam por “Tipos de flexibilidade de baixa ordem” e, do outro lado, representado pelo gargalo de um funil, as saídas do sistema (*output*), ou seja, flexibilidade do *mix* de produção, flexibilidade de volume, flexibilidade de novos produtos e de entrega. Estes últimos, referem-se aos fatores de mercado. Os autores realizam um estudo de caso sobre os vários aspectos da montagem de cartões de circuito impresso.

AZZONE & RANGONE (1996) propõem a construção de um Índice de Competência de produção que considera explicitamente o potencial de manufatura para prover o desempenho

da companhia. Este método utiliza-se de alguns conceitos do método de aproximação, lógica *fuzzy*. A aproximação é baseada na tese de que enquanto a curto prazo a competitividade de uma companhia depende do preço / desempenho dos atributos dos produtos correntes, a longo prazo a competitividade deriva da competência e recursos. De fato, se a competência e recursos são únicos e duráveis, eles produzem na companhia:

- Vantagem competitiva nos segmentos de mercado, através dos atributos preço e desempenho dos produtos correntes;
- Novos produtos com desempenho superior comparada aos competidores, entram em novos mercados e respondem pelas novas necessidades dos consumidores.

Apresenta-se uma estrutura para o indicador denominado Competência de Manufatura e uma consistente descrição da aproximação *fuzzy* para esta medição.

A proposta desta estrutura é levar os gerentes a focarem suas atenções não somente no desempenho da manufatura dos produtos correntes, mas também na capacidade e nos recursos, que são as bases de longo prazo da eficácia da manufatura.

Com base nas referências acima, é possível compreender que a pesquisa por indicadores de desempenho de sistemas de manufatura faz-se de maneira bastante dinâmica, acompanhando de perto a velocidade dos avanços tecnológicos.

Esta afirmação torna-se bastante clara em diversas passagens da presente revisão. Cite-se inicialmente a elevada preocupação dos diferentes autores em não utilizarem-se de medidas de caráter unicamente financeiras, considerando que tais medidas são tendenciosas e não retratam a contento, as características do processo produtivo.

Outro ponto que se pode observar é a tendência de medir atividades simples que somadas, constituir-se-ão em um indicador confiável para o usuário. O ápice desta tendência é verificado quando da utilização do método de Custeio Baseado em Atividades⁵ em um modelo de medição de desempenho.

Dando seqüência ao conjunto de observações podemos encontrar nas referências acima a utilização da lógica *fuzzy* na determinação de uma medida de desempenho, o que parece-nos bastante plausível, dado o grau de subjetividade que envolve o assunto. Pode-se inferir que, em uma situação ideal, alcançaremos a capacidade de mensurar um sistema de manufatura em tempo real, podendo-se alterar padrões de produção calcado em um sistema de *feed back* dos indicadores. Tal avanço somente poderá ocorrer com a utilização da microinformática para este fim.

⁵ ABC - Activity Based Costing- O método ABC redistribui as funções operacionais e administrativas de uma empresa em atividades simples possibilitando um melhor e mais rigoroso controle de custos. Este método vem conquistando espaço nos meios produtivos devido suas vantagens sobre os métodos tradicionais de custeio, os quais baseiam-se em alocações de recursos. Esta vantagem nos faz acreditar que a utilização do Método ABC em indicadores de desempenho seja um marco para esta área do conhecimento científico.

Capítulo 3

Tecnologias Aplicadas no Ambiente Fabril

Este capítulo tem por objetivo descrever sobre o universo tecnológico que envolve o ambiente fabril nos dias atuais. Com as inovações da microinformática, grandes avanços nos processos de manufatura, projeto de produto, qualidade, entre outros, foram alcançados, de maneira que podemos distinguir claramente hoje, a chamada Fábrica do Futuro dos sistemas fabris tradicionais.

Esta distinção dá-se basicamente nas condições de controle sobre a informação, adequando-se rápida e eficientemente às oscilações mercadológicas, de maneira que a vida útil dos produtos tende a ser cada vez menor, caminhando portanto no sentido da automação flexível (TELLES,1990).

3.1 Sistemas Produtivos

A manufatura pode ser entendida, sob o ponto de vista da engenharia, como o conjunto dos conhecimentos que permitem ao homem elaborar transformações de materiais e, assim, produzir bens que satisfaçam às suas necessidades (COZMAN,1993).

Visando atender os crescentes níveis de demanda por bens manufaturados no século XVIII, foram desenvolvidos os sistemas produtivos. ZACCARELLI (1977) apresenta dois sistemas produtivos, os quais são considerados clássicos em manufatura:

- *Sistemas produtivos em Fluxo Contínuo* - Utilizam-se de equipamentos de operação ininterrupta, mão de obra empenhada em tarefas menos fatigantes e, portanto, mais seguras. O material se move com pequenas interrupções entre uma máquina e outra, até chegar ao estoque de produtos acabados. O desempenho econômico global do sistema é geralmente satisfatório. É o caso típico das indústrias químicas e petroquímicas, da siderurgia e metalurgia, do papel, do cimento, etc.
- *Sistemas produtivos em Fluxo Intermitente* - Os equipamentos apresentam variações frequentes de trabalho, motivados pela diversidade de produtos fabricados ou pelo reduzido tamanho dos lotes fabricados. Conseqüentemente, há necessidade de fixar com detalhes o que cada operário executará a cada dia.

O estudo da disposição dos recursos produtivos dentro de uma determinada planta, é realizado através da análise do arranjo físico ou *lay-out*. WEIL (1978) apresenta dois tipos de arranjos físicos que são divididos em dois grupos segundo a característica do fluxo do produto e da seqüência de máquinas.

1º) Para produto imóvel: Caracteriza o *lay-out* de produto imóvel o grande peso ou a inviabilidade de movimentação do objeto trabalhado. Assim, os funcionários devem trabalhar em pontos diversos do produto.

2º) Para produto móvel: Quando o produto é móvel, a seqüência de máquina tem a seguinte divisão:

a) arranjo físico em linha: *lay-out* por produto;

- As máquinas são agrupadas visando o processamento completo de um grupo de peças. Apresenta um alto grau de mecanização e automação, além de atrativo desempenho econômico. Sua aplicação clássica se refere às “linhas de usinagem” ou “de montagem”, em produção seriada de bens de consumo duráveis ou de capital.

b) Arranjo físico funcional: *lay-out* por processo;

- Caracteriza-se por agrupamentos de máquinas em seções, pela característica funcional semelhante do maquinário. Apesar de fortemente criticado por suas características de inflexibilidade, continua presente no ambiente fabril porém, tende à obsolescência com a entrada de novas tecnologias de produção. Sua aplicação está basicamente ligada a auto peças, máquinas-ferramenta, bens de consumo, entre outras.

c) Arranjo físico agrupado ou Sistema Celular de Produção;

- Desenvolvido como alternativa para aprimorar o sistema baseado em arranjo físico funcional. A concepção de sistema produtivo baseado em grupos de recursos produtivos integrados (células), gera ciclos totais de fabricação curtos (em comparação com os ciclos longos do sistema funcional) e com roteiro de processos ordenados, com abertura para emprego de programação através do princípio de “controle de fluxo”. Esta combinação otimiza recursos produtivos e estoques, encadeia as operações de fabricação de modo mais coerente e com maior visão do conjunto, oferece condições básicas para estimulação do pessoal do chão de fábrica através da participação nas decisões e maior autonomia.

As células são excelentes bases para o assentamento do desenvolvimento tecnológico, particularmente a automação (COZMAN, 1993).

3.2 Tecnologia de Grupo

A Tecnologia de Grupo é largamente utilizada no ambiente fabril com o objetivo de reduzir os tempos despendidos em troca de ferramentas e, conseqüentemente, reduzir o custo de fabricação da instalação como um todo.

GOMES (1994) discorre sobre o assunto de maneira bastante clara: “Tecnologia de Grupo (T.G.) é uma abordagem aplicada a projeto e fabricação, que busca aprimorar o conteúdo de informações do sistema de fabricação através da identificação e aproveitamento da uniformidade ou similaridade de peças, baseada em sua forma geométrica e/ou similaridades em seu processo de fabricação”.

Existem três métodos para agrupar peças em famílias. Todos os três métodos consomem tempo e envolvem análise de muitos dados, exigindo treinamento do pessoal responsável. Os três métodos são:

1. Inspeção Visual
2. Análise do Fluxo de Produção
3. Sistema de Classificação e Codificação de Peças



1. Inspeção Visual - O método de Inspeção visual é o menos sofisticado e menos caro dos três apresentados. Envolve a classificação de peças em famílias através de inspeção visual, com base nas características físicas das peças ou utilizando-se de recursos fotográficos, visando agrupá-las em famílias de peças similares. Este método é geralmente considerado de menor acurácia em relação ao demais métodos.

2. Análise de Fluxo de Produção (PFA - Production Flow Analysis) - O segundo método foi desenvolvido por BURBIDGE (1963). O PFA é um método de identificação de famílias de peças e associação de grupos de máquinas através da análise das rotas para peças produzidas em uma determinada planta industrial. Os grupos são formados por peças que possuem seqüências de operações similares. A principal desvantagem é a necessidade de alta definição dos dados da folha de processo e cartas de fluxo.

3. Sistema de Classificação e Codificação de Peças - Este método de agrupamento envolve o estudo individual do projeto ou atributos de fabricação de cada peça. Os atributos de uma peça são identificados unicamente por um número de código (code number). Esta classificação e codificação pode compor a lista de produto final da empresa ou simplesmente ser usada na formação de famílias. A principal vantagem deste sistema é a precisão na formação de famílias de peças.

CANCIGLIERI Jr. (1994) faz considerações a respeito dos benefícios econômicos que podem ser obtidos com a implantação da Tecnologia de Grupo, são eles:

- Projeto mais efetivo
- Menores estoques
- Simplificação do planejamento e controle da produção
- Redução do tempo de preparação de máquina
- Melhoria no seqüenciamento e carregamento
- Redução do tempo com ferramental
- Melhor controle do inventário em processo
- Redução do tempo total de produção
- Otimização do uso de máquinas

Entretanto, como o custo de manutenção do sistema é considerável, é necessário um período de tempo para que haja retorno do investimento feito, como mostra a *Figura 4*.

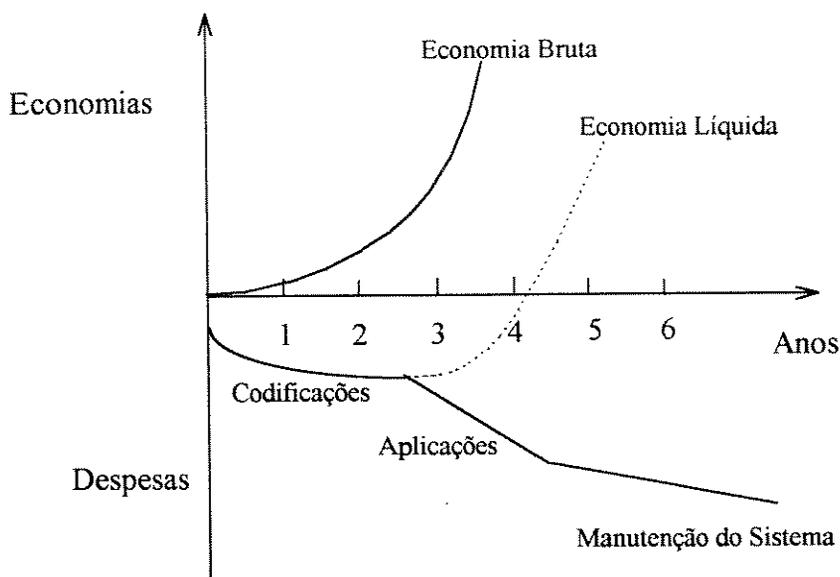


Figura 4: Exemplo de economias de custos, gastos e período de tempo para a implantação da Tecnologia de Grupo (CANCIGLIERI Jr., 1994, p. 24).

3.3 Manufatura Integrada por Computador

O CIM (Computer Integrated Manufacturing) é definido como uma série de atividades e operações integradas envolvendo o projeto, seleção de materiais, planejamento de produção, maior segurança de qualidade, gerenciamento e marketing, destinado com mais freqüência ao consumidor direto e bens duráveis. Trata-se de uma organização lógica de engenharia, que promove a integração deliberada de sistemas automatizados ao processo de produção e marketing, apoiado por um sistema de computadores (VENDRAMETO, 1994).

O conceito CIM, surgido na década de 80, vislumbrava a melhoria do desempenho da unidade produtiva, através da integração dos diferentes níveis hierárquicos, de modo que as informações necessárias à realização de cada tarefa especificada estivessem disponíveis e fluíssem automaticamente. Isto obrigou repensar o modo de ligação dos diferentes níveis, o que levou ao surgimento de redes abertas e padronizadas, e ainda a novas estruturas para os bancos de dados (COSTA, 1995).

Esta modernização dos processos de manufatura acarretou na redução do custo unitário do trabalho. A automação, integração e informatização de processos objetiva a redução do custo total de manufatura através da maior eficiência no uso do tempo de produção e uma grande disponibilidade de dados de produção que permite o planejamento efetivo para este tempo disponível.

3.3.1 A hierarquia do CIM

As atividades do ambiente fabril podem ser distribuídas de maneira lógica em hierarquias através de um sistema de *network* de troca de dados.

PARRISH (1990) considera a existência de cinco níveis hierárquicos dentro de um ambiente fabril que utiliza-se da tecnologia CIM.

Dentro da hierarquia CIM, um sistema hospedeiro é projetado para controlar um grupo de máquinas e equipamentos ou para organizar as instalações ou dados dos equipamentos. Estas áreas compõem os níveis hierárquicos de 3 a 5 da fábrica. Baseiam-se em dados recebidos de outros níveis hierárquicos na tomada de decisões.

A execução e monitoração das decisões são controladas pelos níveis 1 e 2 da hierarquia CIM. Estes níveis funcionais são fundamentais no ambiente fabril, sendo constituídos por máquinas CNC, NC, RC (Robotic Control) e equipamentos PLC (Program Logic Control).

3.4 Atividades de Planejamento de Processo

O planejamento de processos pode ser realizado manualmente por um processista. Neste caso, tem-se um processo complexo e demorado.

No contexto atual, em que são exigidos elevados padrões de qualidade, e cumprimento de prazos para entrega, além de baixo preço, a utilização de Planejamento de Processo Assistido por Computador CAPP (Computer Aided Process Planning) para maximizar o lucro total sobre o *mix* desejado de produtos é de fundamental importância para a rápida reação da empresa aos estímulos do mercado.

Em GIMENEZ (1996) encontra-se uma ampla descrição dos principais elementos de um sistema CAPP, os quais são descritos a seguir:

- Interpretação dos dados do projeto do produto
- Seleção das máquinas-ferramenta
- Seqüenciamento das operações
- Determinação das tolerâncias de produção
- Cálculo de todos os tempos
- Seleção da forma do “blank” (trefilado, laminado, etc.)
- Determinação dos dispositivos e superfícies de referência
- Seleção dos processos
- Seleção dos planos de inspeção
- Determinação das condições ótimas de corte
- Geração de todos os tempos

A importância do CAPP na tecnologia de manufatura é expressado por WOLFE (1985) da seguinte maneira:

“O engenheiro de projeto pode usar o sistema CAD para projetar uma peça e o engenheiro de processo pode usar uma máquina de Controle Numérico (CNC) para fazer a peça; mas a total integração não ocorrerá até podermos unir CAD e Computer Aided Manufacturing (CAM) através do CAPP. A engenharia de projeto idealiza o produto e então lança os desenhos para o outro lado do muro, para a fabricação confeccioná-los; O CAPP facilita a remoção deste muro, rumo à Engenharia Simultânea.”

3.4.1 Conceito de Features

A palavra *Feature* significa a representação das características geométricas e tecnológicas em uma forma única. Elas são pré definidas e contêm um número limitado de elementos os quais carregam informações relativas ao projeto e as respectivas atividade de manufatura.

O conceito de *features* encontra grande aplicabilidade no uso do CAD, podendo ser utilizado tanto para peças rotacionais quanto para prismáticas. CANCEGLIERI Jr. (1994) apresenta de maneira bastante clara o porquê da utilização do conceito de *features*:

“Durante as atividades de projeto é possível representar o modelo sólido do desenho geométrico, mas não é possível representar nenhuma informação tecnológica, tais como: tolerância, material, processo de manufatura, etc.. A resposta pode ser conseguida através do uso de *feature* que pode ser incorporado a esta informação.”

Quando inserido em um sistema CAD / CAM, as *features* são capazes de agilizar e viabilizar o processo de integração entre a engenharia de projetos e o Sistema de Manufatura (chão de fábrica).

3.5 Sistemas Facilitadores

Com o intuito de maximizar o planejamento de processos de peças de revolução, FREITAS (1994) desenvolveu um software denominado SSGPP (Sistema Semi-Generativo de Planejamento de Processos), baseado em conceitos de Tecnologia de Grupo e *Features*.

Neste sentido, o conceito de *features* é empregado para estabelecer as regras e inter-relações entre as funções de projeto e fabricação de forma que o SSGPP possa gerar e determinar as etapas de fabricação e equipamentos necessários, enquanto que os conceitos de Tecnologia de Grupo são empregados para formular as famílias de peças rotacionais e seus respectivos planos de processo padrão. Esta combinação proporciona economia de recursos tanto na fase de projeto quanto na fabricação.

Consolidados os métodos de Planejamento de Processo e sua interligação com o chão de fábrica, torna-se válido o esforço para interligá-lo à área de administração de materiais. GIMENEZ (1996) propõe uma interface capaz de extrair informações referentes aos materiais e componentes de um projeto.

Esta interface permite a elaboração da programação dos materiais a partir de um desenho de conjunto elaborado em um sistema CAD, servindo de ferramenta para auxiliar no planejamento e programação da produção.

Com o intuito de prover o mercado nacional de ferramenta de programação para profissionais programadores de CN e viabilizar um pacote de *software* para ser utilizado como laboratório de cursos de automação industrial, TELLES (1990) desenvolveu o Sistema de Programação Automática para Tornos (SPAT). O SPAT é composto em três módulos:

- *Editor* - Realiza a análise sintática e semântica das informações, à medida que elas são fornecidas.
- *Processador Geométrico* - Traduz as informações gerais do programa fonte, gerando o chamado Programa Objeto, o qual pode ser encaminhado para a máquina-ferramenta.
- *Simulador Gráfico* - Permite a visualização antecipada do processo de fabricação, detectando antecipadamente, eventuais problemas nos programas.

ROZENFELD (1990) propõe o desenvolvimento de uma linguagem universal para programação de máquinas CNC. Esta linguagem surge da necessidade de se integrar os diversos elementos da “Cadeia de Planejamento CN”. Os elementos a serem relacionados são os seguintes:

- O Usuário - Provavelmente o maior beneficiado com uma normalização, pois seus problemas práticos seriam resolvidos.
- O Fornecedor de sistemas de programação - Teria razões para concordar com uma normalização na área de programação CN pois atualmente possui um custo muito elevado no desenvolvimento de sistemas para que todas as particularidades de cada CN sejam consideradas. O fornecedor de sistemas teme, com a normalização, perder seu campo de atuação.
- O Fabricante de CN - Este elemento fornece equipamentos cada vez mais sofisticados. Sua maior preocupação é que uma normalização na Cadeia de Planejamento CN cause um nivelamento da oferta, prejudicando a utilização das funções de seus equipamentos.

- O Produtor de máquinas-ferramenta - Desde que ele não seja um produtor de CN, uma normalização neste setor é relativamente indiferente. Ele espera somente que continue a existir demanda de seus produtos, no caso, máquinas CN.

3.6 Engenharia Simultânea

A Engenharia Simultânea pode ser entendida como uma estratégia na qual durante a fase de projeto é estabelecida a colaboração e a confiança total entre os setores de produção e projeto do cliente e os respectivos setores do fabricante de máquinas.

A *Tabela 2* apresenta com detalhes as experiências de um fabricante de peças fundidas para a indústria automobilística. Nesta tabela, AMBOS, WEISS & RICHTER (1996), representam as fases de desenvolvimento dos componentes novos e a preparação da fabricação em série.

Tabela 2: Fases da Engenharia Simultânea

Fase 1	<ul style="list-style-type: none"> • Análise de valores com as primeiras avaliações de custo (em parte tendo como base peças similares existentes). • Transmissão dos pontos de ligação e das responsabilidades coletivas.
Fase 2	<ul style="list-style-type: none"> • Determinação da geometria futura das peças. • Consideração da importância da técnica de fabricação e da garantia da qualidade através de consultas a especialistas.
Fase 3	<ul style="list-style-type: none"> • Cálculo da resistência e estabilidade através do Método dos Elementos Finitos.
Fase 4	<ul style="list-style-type: none"> • Fabricação dos modelos (eventual produção de modelos para <i>investment casting</i> através da estereolitografia ou do fresamento via CAD-CAM).
Fase 5	<ul style="list-style-type: none"> • Fundição dos protótipos da futura linha de fabricação. • Usinagem de protótipos para montagem.
Fase 6	<ul style="list-style-type: none"> • Testes das peças em ensaios tipo fadiga e fluência nas condições de uso do cliente. • Testes de montagem, primeiros testes no veículo em movimento.
Fase 7	<ul style="list-style-type: none"> • Preparação das peças para fabricação em série (com análise de valores, por exemplo, sobre as despesas com acabamento e a formação do preço definitivo).

É reconhecido que a Engenharia Simultânea aplicada ao desenvolvimento e à preparação da fabricação de automóveis é um processo interativo e que demanda um tempo relativamente longo para a sua implementação. O objetivo do uso desta prática é a redução dos tempos de desenvolvimento e a obtenção de altos níveis de qualidade para as peças fornecidas, assim como a limitação dos riscos de fabricação a partir do início da produção em série.

AMBOS, WEISS & RICHTER (1996) observam também que na fase de desenvolvimento para a montagem de um automóvel são necessárias até 10.500 peças isoladas para se obter uma máquina de extrema confiabilidade. Esta confiabilidade permite aos fabricantes automotivos um índice de rejeição menor que 1 ppm⁶.

3.7 Sistema de Custeio ABC

O Sistema de Custeio Baseado em Atividades é uma metodologia de cálculo dos custos que identifica as atividades executadas em uma organização e determina seus custos e sua performance.

O custeio dos produtos através do ABC permite proporcionar uma base fidedigna para determinar o preço do produto no mercado. NAKAGAWA (1994) indica que muitas das informações dos sistemas de custeio tradicional originam erros na estratégia de preços, indicando ações opostas às que tivesse recomendado a metodologia ABC.

Uma atividade é uma combinação de pessoas, tecnologia, matéria prima, métodos e ambiente que produz um determinado produto ou serviço. Descreve o que a empresa faz, a forma como seu tempo é gasto, e os resultados de seus processos.

BARBOSA (1995) sustenta que ao associarmos as atividades aos produtos, identificamos quais as atividades são necessárias a estes produtos e, portanto, melhoramos a acuracidade do custo dos mesmos. Avalia-se desta forma, quais atividades podem serem eliminadas, quais devemos substituir e quais atividades devem ter seus custos reduzidos.

⁶ Partes por Milhão (Em um milhão de componentes acabados admite-se a rejeição de até uma peça).

TURNEY (1991) demonstra as limitações dos métodos de custeio tradicionais, enfocando principalmente a questão da alocação de custos indiretos ao produto (como são conhecidos), provocando imprecisões no cálculo final do custo deste produto.

Outra ressalva feita aos métodos tradicionais é de ser ineficaz para atender aos novos padrões de produção, que exigem muita versatilidade da empresa, reação rápida com relação aos estímulos de mercado e, principalmente, tratamento rápido e confiável da informação. Os principais elementos do Custeio ABC são os seguintes:

- Atividade - É uma unidade de trabalho desempenhada dentro da organização
- Objeto de Custo - É a razão pela qual uma atividade é realizada
- Direcionador de Atividades - Trata-se de um fator que mede o consumo de atividades por objeto de custo
- Direcionador de Custos - É um fator que determina o trabalho despendido e o esforço requerido por uma atividade e os recursos necessários. Uma atividade pode ter muitos direcionadores de custos.

3.8 Tendências e Necessidades

Atualmente, os novos serviços que vêm sendo procurados por usuários finais são os produtos relacionados com a integração da computação e telecomunicações.

BRADLEY, HAUSMAN & NOLAN (1993), afirmam que o aprendizado organizacional pode ser representado em um gráfico de *curvas S* as quais descrevem a demanda por serviços relacionados com a informação, que compreende o período de 1960, passando nos dias atuais e projetando tendências para o ano 2010. Na *Figura 5* podemos analisar esta tendência.

A Era Processamento de Dados (Era Data Processing) que prevaleceu entre os anos de 1960 a 1980, foi caracterizada por produtos industriais que utilizavam-se de computadores

“mainframes”. A automação foi o centro das atenções da época, quando o computador foi aplicado para tornar a organização mais eficiente.

A Era Micro foi o novo paradigma para solucionar problemas do profissional de nível médio que buscava a informática. A informatização é diferente da automatização.

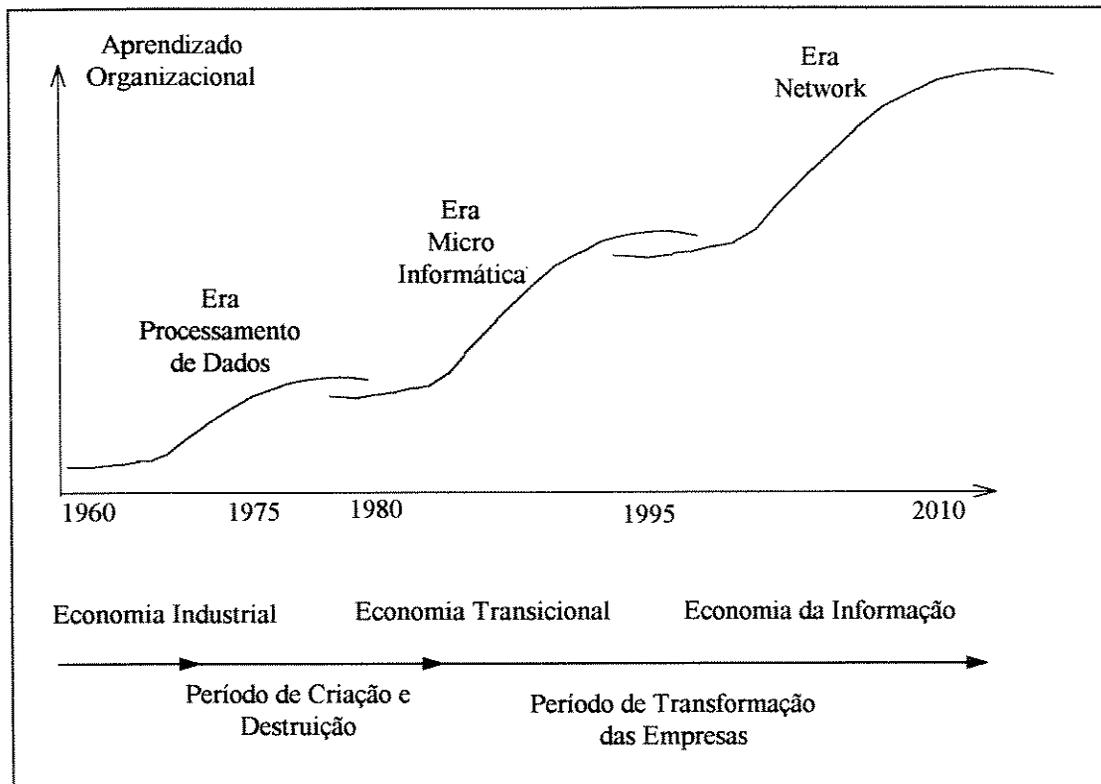


Figura 5: Teoria dos Estágios (Adaptado de Globalization, technology, and Competition, Bradley Hausman Nolan, pag 9).

A informatização não se trata de substituir profissionais por computadores, mas usar a computação para nivelar o trabalho dos profissionais. O microcomputador associado com inovações como editores de textos, CAD (Computer Aided Design), Interfaces para gráficos, entre outros, abasteceram a Era Micro. Com o aumento do número de profissionais equipados com microcomputadores hoje, podemos presenciar uma permanente reestruturação da força de trabalho dentro das empresas. Cada vez mais, o microcomputador vem incorporando os produtos e serviços de empresas.

A Era Network tem como base elevados investimentos em computação nas principais áreas ou mercados tais como automobilística, serviços bancários, comércio, desenvolvimento de produtos e serviços inteligentes.

Com relação a produção em massa, PETERS (1993) considera que as ferramentas industriais informatizadas contribuam na obtenção de economia de escala inclusive nas pequenas instalações, proporcionando um atendimento personalizado em diferentes mercados.

Este processo levaria à personalização da produção em massa, que está diretamente ligado à capacidade da empresa de contatar rapidamente pessoas e organizações. Considera-se, portanto, que no futuro não haverá diferença entre fábrica e empresa de serviço.

3.8.1 Sistemas de Apoio a Decisão

Qualquer sistema de manufatura ou de prestação de serviços pode ser visto como um conjunto de componentes cuja função é a transformação de elementos de entrada em elementos de saída desejados. O objetivo maior de sobrevivência a longo prazo de qualquer empresa impõe requisitos de qualidade. Procurando satisfazer os requisitos de qualidade, os Sistemas de Apoio a Decisão (SAD) buscam alternativas de máxima produtividade, e alguns deles determinam automaticamente preços de máxima competitividade (LUNA, 1995).

Neste sentido, as máquinas inteligentes vêm auxiliar os sistemas de manufatura modernos, os quais executam um número muito elevado de peças.

Pode-se visualizar um sistema de manufatura como sendo composto por cinco subsistemas interligados entre si, são elas: projeto de produto, planejamento de processo de fabricação, operações de produção, fluxo de materiais e *layout* de fábrica, planejamento e controle de produção (GOMIDE & GUDWIN, 1995). Além do fluxo de materiais e de energia, o fluxo de informação é o elemento essencial na coordenação de várias funções, bem como na determinação do desempenho global do sistema, tendo em vista os objetivos operacionais e empresariais a serem atingidos.

Com o objetivo de integrar estas diferentes funções de modo a formar um conjunto harmonioso denominado CIM (*Computer Integrated Manufacturing*) verifica-se a utilização

da lógica *fuzzy*⁷, a qual é baseada na teoria dos conjuntos *fuzzy*. Nesta lógica, o raciocínio exato corresponde a um caso limite do raciocínio aproximado, sendo interpretado como um processo de composição de relações nebulosas.

Em sistemas de manufatura observam-se aplicações da Lógica Nebulosa em controle de temperatura em extrusoras, controle de trajetória em máquinas ferramentas, supervisão de células de montagem, controle de robôs e veículos autoguiados para manuseio e transporte, visão computacional para inspeção e controle de qualidade, classificação em tecnologia de grupo, projeto de produtos, compactação de informação para animação em sistemas de CAD, previsão de demanda e comportamento de mercado, programação e seqüenciamento da produção, planejamento e controle da produção, entre outros (GOMIDE & GUDWIN, 1995).

3.9 Conclusão do Capítulo

Este capítulo encerra-se com uma frase de LONGO (1984): “Numa fábrica de tecnologia, os principais equipamentos são os cérebros dos seus pesquisadores; os instrumentos científicos utilizados são acessórios periféricos dos cérebros.”

Considera-se que nesta frase concentra-se o aparato tecnológico desenvolvido pelo homem. Neste capítulo, procurou-se resumir os avanços tecnológicos que cercam o ambiente fabril e que, por encontrarem-se em permanente desenvolvimento, tornar-se-ão obsoletos no decorrer do tempo.

Sabe-se porém que em termos de Brasil, as tecnologias aqui exibidas figuram isoladamente em poucas corporações de grande porte ou nos departamentos das instituições de pesquisa, por serem técnicas muito caras e que exigem pessoas qualificadas para sua implementação e manuseio.

⁷ Lógica Fuzzy ou comumente denominada na Língua Portuguesa de Lógica Nebulosa

Capítulo 4

Avaliação Experimental

Neste capítulo concentram-se as justificativas e explicações relevantes para a escolha de um método de medição de desempenho. Após a escolha, faz-se um estudo detalhado do método, apresentando ao leitor suas principais características.

A escolha dos métodos a ser utilizados nesta pesquisa tem como base as seguintes diretrizes:

- *Quanto à Aplicação:* Considera-se que o método a ser utilizado deve apresentar características que viabilizem a sua aplicação, a fim de obter-se dados de diversos tipos de processos.
- *Quanto ao Acesso às Informações:* Devido a forte concorrência, muitas informações a respeito de processo de manufatura são consideradas de ordem sigilosa em determinadas empresas. Apesar desta restrição, considera-se válida a utilização de um método que abrange um elevado número de informações específicas. Esta escolha é responsável por um acentuado aumento no tempo dispensado para coleta e organização dos dados, por outro lado, proporciona maior confiabilidade aos resultados obtidos.
- *Quanto à Flexibilidade do Índice:* Procurou-se utilizar um método que apresentasse parâmetros reconhecidos pelos demais métodos estudados na literatura. Esta identificação pode proporcionar a interação entre os vários métodos de medição de desempenho estudados, enriquecendo assim, o escopo desta pesquisa.

O método escolhido para aplicação no presente estudo foi o Método dos níveis Múltiplos do Prof. Dr. Sanchoy K. Das do *New Jersey Institute of Technology*.

Cabe informar que durante a pesquisa, outros métodos foram analisados e testados em instalações produtivas (ver MONTEIRO e TELLES, 1997), porém, suas características não satisfizeram completamente os objetivos propostos para esta pesquisa. Portanto, decidiu-se que tais métodos seriam melhores aproveitados em estudos futuros.

O método dos Níveis Múltiplos é caracterizado por uma pesada teorização, que exigiu diversos contatos com o autor desde meados de 1996 até agosto de 1997. Apesar dos avanços obtidos neste período, diversos pontos ainda impediam a aplicação do método.

Em setembro de 1997, com o apoio financeiro do CNPq e suporte da Faculdade de Engenharia Mecânica (FEM / UNICAMP) realizou-se uma visita técnica de uma semana ao *New Jersey Institute of Technology*.

Durante a visita foram esclarecidas diversas questões que encontravam-se pendentes até aquele momento, foram realizadas simulações do método com auxílio de aplicativos desenvolvidos para o referido método e realizou-se contatos com a equipe de pesquisadores que presta auditoria às empresas da região de New Jersey, utilizando-se do método em questão.

Ao retornar ao Brasil, foi dado início às visitas em empresas de manufatura, desta feita, de forma mais completa e estruturada. A seguir, relaciona-se as principais etapas do processo aplicação do método:

- Realização do levantamento de dados na empresa.

Durante este primeiro contato, estuda-se as características da empresa, buscando avaliar suas necessidades e preocupações com relação a flexibilidade nas operações. O questionário utilizado é denominado “Levantamento de Dados da Flexibilidade” (ver Apêndice 1).

- Análise da necessidade e relevância da flexibilidade para a empresa.
Os dados obtidos na primeira etapa fornecem subsídios para encontrar os tipos de dificuldades da empresa, se relativa a flexibilidade de Máquina, Rotina, Processo, Produto e/ou Volume.
- Aplicação do Método dos Níveis Múltiplos de Flexibilidade.
Todos os parâmetros especificados pelo *Dr. Das* foram reunidos em um segundo questionário.
Através do preenchimento de várias tabelas, o entrevistado fornece dados para a aplicação dos indicadores de desempenho.
- Compilação de dados para Planilha Eletrônica.
Todos os dados obtidos são compilados em planilha Microsoft® Excel™, a qual processa eletronicamente os dados, gerando os resultados para cada indicador.
- Análise dos resultados.
Nesta etapa, analisa-se os gráficos que são gerados eletronicamente pela planilha Microsoft® Excel™. Esta análise é realizada para cada indicador de flexibilidade, visando isolar os pontos fortes e fracos do sistema produtivo.

Apesar de não constar do escopo desta pesquisa, pretende-se em trabalhos futuros, realizar a emissão de um relatório de inspeção contendo sugestões para melhoria dos níveis de flexibilidade da instalação, e o qual seria encaminhado ao responsável técnico da empresa.

4.1 Método dos Níveis Múltiplos

O método dos níveis múltiplos como demonstrado durante a revisão bibliográfica (Capítulo 2), realiza a mensuração da flexibilidade em 5 níveis distintos, são eles:

- Necessidade
- Capacidade
- Situação Real
- Inflexibilidade
- Otimização

Com o objetivo de facilitar a compreensão do método, faz-se necessário definir alguns padrões que serão utilizados no decorrer da explanação. São eles:

β - Refere-se à situação real da instalação, é constituído por diversos elementos característicos das instalações produtivas como rotina de produção, nível de força de trabalho ou troca de ferramenta.

Ψ_R - Refere-se ao conjunto dos diferentes β que a instalação precisa alcançar através de um conjunto de mudanças.

Ψ_C - Refere-se ao conjunto de estados que a instalação está equipada para alcançar.

A *Figura 6* ilustra as relações entre os cinco níveis de flexibilidade. Por conveniência, os conjuntos Ψ_R e Ψ_C serão representados linearmente.

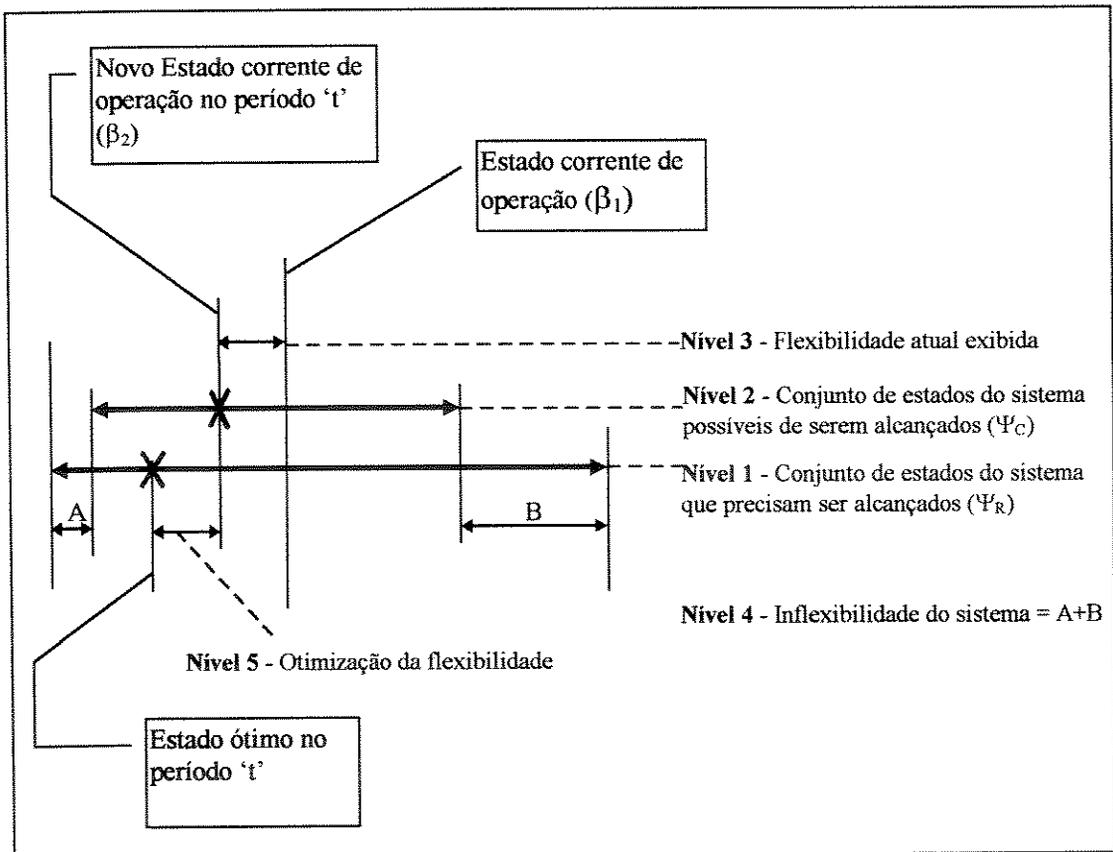


Figura 6: Representação gráfica dos cinco níveis de medição de flexibilidade (DAS, 1996, p.70)

Faz-se a seguir uma explanação do método, desenvolvendo em detalhes as medidas para Capacidade de Flexibilidade e Flexibilidade Real. Isto será feito especificamente para Flexibilidade de Máquina, Rotina, Processo, Produto e Volume (conforme DAS, 1996).

As propostas de medidas aqui apresentadas passaram por um processo evolutivo através de vários autores, suas idéias foram incorporadas no desenvolvimento destas medidas.

4.1.1 Flexibilidade de Máquina (MFLX - Machine Flexibility)

Em um FMS, cada máquina desempenhará tipicamente mais que uma operação. O estado de uma instalação é descrito por uma operação ou conjunto de operações que cada máquina vem desempenhando correntemente e Ψ_c representa todas as operações que o FMS é capaz de desempenhar. Portanto, com relação a Flexibilidade de Máquina, esta função deverá capturar as perdas de produtividade sofridas pela instalação como, por exemplo, aquelas causadas pela troca de um operador.

Utiliza-se aqui uma medida que considera a importância relativa das operações desempenhadas pelas máquinas e a eficiência com que elas são realizadas. Considera-se e_{ij} como sendo a eficiência que a máquina j desempenha a operação i , de modo que $0 \leq e_{ij} \leq 1$. Neste caso, e_{ij} é determinado pelo tempo relativo para completar uma operação, incluindo o *setup*. Uma eficiência de 1,0 indica o tempo de operação mínimo, enquanto que uma eficiência de 0,5 indica duas vezes o tempo mínimo.

Através de citações da literatura, DAS (1996) sugere que e_{ij} seja também especificado para considerar qualidade na saída, entrada, confiança e custo de manutenção.

Pela definição, uma máquina flexível é capaz de desempenhar várias tarefas com alta eficiência. Portanto, deve-se medir a flexibilidade da máquina em termos da degradação do desempenho na mudança de um estado para outro.

Deste modo, uma máquina inflexível deve desempenhar no mínimo uma operação. A flexibilidade da máquina j é descrita como sendo a somatória da eficiência e nas diferentes operações i realizadas pela máquina, subtraído pelo valor máximo de eficiência alcançado,

ou seja, $\sum_i (e_{i,j}) - \text{Max}_i (e_{i,j})$. A medida de Flexibilidade da Máquina, portanto, indica o número médio de operações, em adição a sua operação de melhor desempenho, que cada máquina na instalação é capaz de desempenhar eficientemente. Em muitas situações, uma máquina será capaz de desempenhar no mínimo uma operação com eficiência igual a 1, de modo que $\text{Max}_i (e_{i,j}) = 1,0$. Cada máquina em uma instalação é um subsistema separado. Portanto, a medida de Capacidade de Flexibilidade de Máquina (MFLX_{cap}) é:

$$\text{MFLX}_{\text{cap}} = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M \left(\sum_{i=1}^N (e_{ij} | e_{ij} \geq q) - \text{Max}_{i=1}^N (e_{ij}) \right) \quad (1)$$

onde

$i = 1, \dots, N$, operações de manufatura a serem desempenhadas na instalação

$j = 1, \dots, M$, Máquinas na instalação

q = Eficiência mínima considerada satisfatória ou aceitável

A eficiência mínima é introduzida para excluir da consideração as operações de máquinas cujas eficiência sejam muito baixas. Note que para as operações não desempenhadas por uma máquina, $e_{ij} = 0$; então, eles são automaticamente excluídos do cálculo de MFLX_{cap} .

Sabe-se que a Flexibilidade de uma instalação muitas vezes decrescerá quando um novo elemento for adicionado. Como no exemplo abaixo, consideremos as duas matrizes de eficiência:

$$\begin{array}{c} \begin{array}{ccc} J=1 & J=2 & J=3 \\ \mathbf{[e_{i,j}]} = \begin{bmatrix} 1,0 & 0,8 & 0 \\ 0 & 0,4 & 1,0 \\ 1,0 & 0,8 & 0,6 \end{bmatrix} \end{array} & \begin{array}{cccc} J=1 & J=2 & J=3 & J=4 \\ \mathbf{[e_{i,j}]} = \begin{bmatrix} 1,0 & 0,8 & 0 & 0,3 \\ 0 & 0,4 & 1,0 & 0,4 \\ 1,0 & 0,8 & 0,6 & 0,3 \end{bmatrix} \end{array} \end{array}$$

A primeira matriz representa um caso em que três máquinas desempenham três operações. A segunda matriz representa as mesmas três máquinas mas, em adição, inclui uma quarta máquina. Pode-se argumentar que a Flexibilidade de Máquina na segunda matriz é melhor desde que inclui todos os fatores da primeira e mais alguns. Mas, substituindo em (1) resulta $\text{MFLX}_{\text{cap}} = 0,93$ para a primeira matriz, e $\text{MFLX}_{\text{cap}} = 0,85$ para a segunda matriz. Assumindo no segundo caso que a instalação está usando todas as quatro máquinas, então é racional esperar que a baixa flexibilidade da máquina quatro diminua a Flexibilidade global da

instalação. Portanto, se a máquina quatro é uma máquina ociosa ou redundante, então não poderá ser incluída na análise.

A Flexibilidade Real da Máquina exibida pela instalação é avaliada por t subperíodos. Durante cada subperíodo, cada máquina desempenha zero ou mais operações. Considera-se $x_{i,j,t}$ sendo uma variável binária, a qual indica o período de tempo que a operação i é realizada na máquina j no subperíodo t ($1 = \text{sim}$, $0 = \text{não}$). Então, assumindo-se que durante o subperíodo a máquina está constantemente ligada entre as operações desenvolvidas, a medida para a Flexibilidade Real da Máquina $MFLX_{T,act}$ é:

$$MFLX_{T,act} = \frac{1}{MT} \sum_{j=1}^M \sum_{t=1}^T \left(\sum_{i=1}^N (e_{i,j} * x_{i,j,t}) \right) \quad (2)$$

Quando somente uma operação é desempenhada em um subperíodo, então a equação (2) indicará Flexibilidade zero.

A forma geral da medida de Flexibilidade Real dada em (2) assume que não pode ocorrer mudanças de estado entre os subperíodos, ou seja, elas devem ocorrer durante os subperíodos. Esta suposição coloca uma restrição sobre a estrutura de uma variável $x_{i,j,t}$. As três matrizes a seguir ilustram estas restrições no caso de $x_{i,j,t}$.

As matrizes representam os instantes que a máquina 1 executa quatro operações possíveis durante três subperíodos

$$\begin{bmatrix} x_{i,1,t} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} x_{i,1,t} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} x_{i,1,t} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

A primeira matriz indica que, no primeiro subperíodo, as operações #1 e #3 foram desempenhadas, enquanto no segundo subperíodo, as operações #2 e #4 foram desempenhadas. A primeira matriz, portanto, representa uma situação impossível, pois não é indicado quando as mudanças de operações acontecem. Estas mudanças poderiam ter

ocorrido durante o primeiro subperíodo, neste caso, a segunda matriz é a representação correta. Se elas ocorrerem durante o segundo subperíodo, então a terceira matriz será a representação correta. A restrição em geral pode ser resumida assim: Quando $x_{i,j,t} = 1$, então $x_{i,j,t+1}$ ou $x_{i,j,t-1}$ deve ser igual a 1. Com esta restrição, podemos garantir que todas as mudanças de operação serão capturadas.

4.1.2 Flexibilidade de Rotina (RFLX - Routing Flexibility)

Uma Rotina de Processo de Manufatura especifica as máquinas através das quais os produtos são processados e o tempo de processamento correspondente em cada máquina. Em um FMS, cada produto será tipicamente manufaturado através de várias rotinas de processos diferentes durante cada subperíodo. Com relação à Flexibilidade de Rotina, o estado de uma instalação pode ser descrito através das rotas pelas quais cada produto está sendo manufaturado correntemente. Neste caso, Ψ_C representa todas as rotinas e processos possíveis. Se vários lotes de produtos são produzidos correntemente, então o último lote lançado define o estado da instalação.

Para obter-se efetivamente a medida de Flexibilidade da Rotina, esta função deve capturar as diferenças entre todas as rotinas.

As diferenças entre duas rotinas podem ser avaliadas baseando-se em vários atributos, tais como, lista de material necessário, tempo de processo, tipo de processo produtivo, máquinas visitadas e qualidade na saída. A consideração de todos estes fatores conduzirão a uma expressão matemática complexa. DAS (1996) considera somente as máquinas visitadas e o correspondente tempo de processamento na elaboração do cálculo da Flexibilidade de Rotina, por considerar que, na prática, estes são os atributos dominantes. Cabe registrar que alguns dos demais atributos são endereçados para outras flexibilidades e, portanto, não serão completamente ignorados. A diferença ($D_{k,r1,r2}$) entre duas rotinas, $r1$ e $r2$, é portanto:

$$D_{k,r1,r2} = \frac{\sum_{j=1}^M |P_{k,r1,j} - P_{k,r2,j}|}{\sum_{j=1}^M (P_{k,r1,j} + P_{k,r2,j})} \quad (3)$$

onde:

$k = 1, \dots, L$, Os produtos a serem manufaturados na instalação.

$r = 1, \dots, R$, As rotinas pelas quais os produtos podem ser manufaturados.

$P_{k,r,j}$ = Tempo de processamento do produto k na máquina j quando fabricado via rota r .

Note que $P_{k,r,j}$ é o tempo de processamento de todas as operações desempenhadas do produto k na máquina j . Quando duas rotas não passam por máquinas comuns, então $D_{k,r1,r2}=1$, a qual é a máxima diferença.

Quando da avaliação da Flexibilidade de Rotina, é necessário considerar também a eficiência das rotas alternativas. Consideremos o caso em que todos $P_{k,r1,j} = 2(P_{k,r2,j})$ então, pela equação (3), $D_{k,r1,r2} = 0,33$. Mas, claramente, r_1 seria ineficiente e, portanto, uma rotina pouco atrativa quando comparada com r_2 , levando a instalação a evitar a produção do referido item via r_1 . A eficiência de uma rotina é definida pela razão entre seu tempo de processamento e o tempo global da rotina. Denominando-se $\eta_{k,r1}$ como sendo a eficiência da rotina r_1 para o produto k , então:

$$\eta_{k,r1} = \frac{\text{Min}_{r=1}^R \left(\sum_{j=1}^M P_{k,r,j} \right)}{\sum_{j=1}^M P_{k,r1,j}} \quad (4)$$

Sempre que ocorre uma mudança de rotina, então o sistema passa por uma diferença de eficiência, adequando-se ao nível de eficiência da nova rotina. Ambos, $D_{k,r1,r2}$ e $\eta_{k,r1}$ são definidos de 0 a 1. Considerando cada produto como um subsistema separado, a medida de Capacidade para a Flexibilidade de Rotina é:

$$\text{RFLX}_{\text{cap}} = \frac{1}{L(R-1)} \sum_{k=1}^L \sum_{\substack{r_1=1 \\ r_2 \neq r_1}}^R \sum_{r_2=1}^R (0,5(D_{k,r1,r2} + \eta_{k,r2})) - 1 \quad (5)$$

Por conveniência, considera-se que todos os produtos têm o mesmo número de rotas, mas esta restrição é facilmente relaxada. Como sempre os produtos têm pelo menos uma rota, a última subtração é introduzida. A medida da Flexibilidade de Rotina, portanto, indica o número médio de diferentes rotas adicionais e eficientes pelo qual cada produto pode ser manufaturado. A medida (5) define $RFLX_{cap}$ para valores de 0 a $R-1$.

Observe que se houvesse três diferentes rotas para um produto, mas essas rotas tivessem eficiência zero, então $RFLX_{cap} = 1$, desde que todos $D_{k,r_1,r_2} = 1$. Portanto, quando uma situação não é flexível, as rotas alternativas são ineficientes e não há rotas atrativas para serem utilizadas. O Ponto $0,5*(R - 1)$ em uma escala de Flexibilidade de Rotina representa um limiar abaixo do qual a ineficiência tem maior valor. Em geral, quando $RFLX_{cap} \leq 0,5(R - 1)$, implica que as rotas alternativas avaliadas não são interessantes. De maneira que o ideal seria $RFLX_{cap} > 0,5(R - 1)$.

A Flexibilidade de Rotina é exibida sempre que há uma mudança de rotina, e pode ser medida pela trilha da mudança da rota. Considera-se, por exemplo, $Z_{k,r,t}$ sendo uma variável binária que indica o tempo que o produto k foi manufaturado via rota r no subperíodo t ($1 = \text{sim}$, $0 = \text{não}$). Então a medida para a Flexibilidade Real de Rotina ($RFLX_{T,act}$) do produto k no subperíodo t é:

$$\rho_{k,t} = \begin{cases} \frac{0,5}{h_{k,t} - 1} \sum_{r_1=1}^R \sum_{\substack{r_2=1 \\ r_2 \neq r_1}}^R (Z_{k,r_2,t} * Z_{k,r_1,t} (D_{k,r_1,r_2} + \eta_{k,r_2})) - 1, & \text{Quando } h_{k,t} \geq 2 \\ 0 & \text{Quando } h_{k,t} < 2 \end{cases} \quad (6)$$

onde $h_{k,t}$ é o número de rotas diferentes pelas quais o produto k é manufaturado no subperíodo t . Estendendo (6) para todos os produtos e o período T , encontra-se:

$$RFLX_{T,act} = \frac{1}{LT} \sum_{k=1}^L \sum_{t=1}^T \rho_{k,t} \quad (7)$$

Previamente, na seção 4.1.1, mostra-se porque a variável $x_{i,j,t}$ tem uma restrição especial. Uma restrição similar é imposta a $Z_{k,r,t}$, ou seja, quando $Z_{k,r,t} = 1$, então $Z_{k,r,t+1}$ ou $Z_{k,r,t-1}$ deve também ser igual a 1. Isto garante que todas rotinas serão capturadas.

4.1.3 Flexibilidade do Processo (CFLX - Currently Process Flexibility)

Um dos objetivos primários da Tecnologia FMS é tornar possível a produção de múltiplos produtos simultaneamente. Flexibilidade de Processo é a medida do conjunto de diferentes produtos que o FMS é capaz de fabricar, sem elevação do esforço de preparação (*setup*) ou qualquer degradação significativa do desempenho.

Portanto, com respeito a Flexibilidade de Processo, o estado da instalação pode ser descrito pelo produto ou conjunto de produtos que são correntemente produzidos, enquanto Ψ_C representa todos os produtos que a instalação está equipada para produzir.

Considera-se cinco critérios pelos quais um produto pode ser diferenciado, são eles:

- Maneiras de se manusear o produto
- Operações a serem desempenhadas
- Tempo de processamento
- Recursos de processamento
- Diferenças físicas entre os produtos

Dos cinco critérios, DAS (1996) descarta o primeiro, justificando que a questão do manuseio de materiais está ligada apenas à flexibilidade do sistema de transporte de materiais, podendo ser ele manual ou automatizado.

Desenvolve-se então uma medida de diferenciação de produto como função dos quatro critérios remanescentes:

$\Delta\text{Oper}_{k_1,k_2,j}$ = Diferença no processamento das operações para serem fabricados os produtos k_1 e k_2 na máquina j .

$\Delta\text{Habil}_{k_1,k_2,j}$ = Diferença na habilidade do trabalhador ou requisitos de precisão do equipamento / máquina entre os produtos k_1 e k_2 na máquina j .

$\Delta\text{Prod}_{k_1,k_2,j}$ = Diferença de natureza física dos produtos k_1 e k_2 na perspectiva da máquina j .

$\Delta\text{Mach}_{k_1,k_2}$ = Diferença do tempo de processamento de dois produtos.

As diferenças acima relacionadas são expressas na escala de 0 a 1.

Para a obtenção de $\Delta\text{Mach}_{k_1,k_2}$ faz-se necessário utilizar o teste de rotina abaixo:

$$\Delta\text{Mach}_{k_1,k_2} = \frac{\sum_{j \in \xi_{k_1,k_2}}^M |P_{k_1,r,j} - P_{k_2,r,j}|}{\sum_{j=1}^M (P_{k_1,r,j} - P_{k_2,r,j})} \quad (8)$$

Onde ξ_{k_1,k_2} é o conjunto de máquinas visitadas por ambos os produtos k_1 e k_2 .

Se não houver flexibilidade de rotina, então r será igual a 1. Quando ocorrer múltiplas rotinas, então o teste de rotina deverá ser usado para derivar $\Delta\text{Mach}_{k_1,k_2}$.

Quando da combinação dos quatro critérios de diferenciação, dá-se origem a medida de diferença de produto, na qual o usuário deve assinalar o peso de cada critério. Este peso é indicador da importância relativa de cada critério para a instalação em questão. A soma dos pesos deve ser igual a 1. Considera-se W_1, W_2, W_3, W_4 , como sendo a importância de cada critério. Então a diferença (E_{k_1,k_2}) entre dois produtos é:

$$E_{k_1,k_2} = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M (W_1 * \Delta\text{Oper}_{k_1,k_2,j} + W_2 * \Delta\text{Habil}_{k_1,k_2,j} + W_3 * \Delta\text{Prod}_{k_1,k_2,j}) + W_4 * \Delta\text{Mach}_{k_1,k_2} \quad (9)$$

Deve-se observar que E_{k_1,k_2} é definido de 0 a 1 e que $E_{k_1,k_2} = E_{k_2,k_1}$. Usando (9) como base para diferenciação de produto, a medida de Capacidade para a Flexibilidade do Processo (CFLX_{cap}) é:

$$\text{CFLX}_{\text{cap}} = \frac{1}{L} \sum_{k_1=1}^L \sum_{\substack{k_2=1 \\ k_1 \neq k_2}}^L E_{k_1,k_2} \quad (10)$$

Esta medida deriva da soma da diferença média entre cada produto e todos os outros na instalação. CFLX_{cap} é definida de 0 a $L - 1$, e representa o número de diferentes produtos, em adição a um produto inicial que são simultaneamente produzidos. Um resultado de $L - 1$ indica que todos os produtos fabricados são completamente diferentes entre si.

Consideremos $Y_{k,t}$ como sendo uma variável binária que indica quando o produto k é fabricado no subperíodo t ($1 = \text{sim}$, $0 = \text{não}$) e λ_t sendo o número de diferentes produtos manufaturados no subperíodo t . Então, assumindo que durante o subperíodo as máquinas

estão constantemente mudando de produto para produto, a Flexibilidade Real do Processo (CFLX_{T,act}) é:

$$\text{CFLX}_{T,\text{act}} = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \left(\frac{1}{\lambda_t} \sum_{k_1=1}^L \sum_{\substack{k_2=1 \\ k_1 \neq k_2}}^L (E_{k_1,k_2} * Y_{k_1,t} * Y_{k_2,t}) \right) \quad (11)$$

Considera-se neste ponto, $\lambda_t \geq 1$. Portanto, qualquer período no qual λ_t seja igual a zero não será considerado, e T será proporcionalmente reduzido. Se uma instalação fabrica todos os produtos ao mesmo tempo, então CFLX_{T,act} é máximo. Por outro lado, se somente um produto é fabricado em cada subperíodo, então CFLX_{T,act} será zero.

4.1.4 Flexibilidade do Produto (PFLX - Product Flexibility)

Um FMS proporciona a uma instalação a capacidade de adicionar novos produtos na família de produção ao mínimo custo. Com relação a flexibilidade do produto, o estado da instalação pode ser definido pelo último produto adicionado à família de produção e Ψ_C representa o conjunto de todos os produtos que serão potencialmente adicionados à instalação.

É importante considerar que os produtos candidatos a serem adicionados à produção não podem ser escolhidos arbitrariamente. Estes produtos não deveriam requerer um esforço muito elevado de *setup*, ferramenta ou instalações.

Periodicamente um novo produto é introduzido, a instalação tem um custo padrão para *setup* (custo de ferramenta, custo de reprogramação, custo de reciclagem com pessoal, etc.) mais um custo associado com o tempo despendido com *setup*. É esperado que, em uma planta flexível, este custo e o tempo gasto com *setup* sejam mínimos, enquanto em uma planta inflexível eles sejam relativamente altos. Tipicamente, há um limite para o aumento do custo e tempo que a instalação pode suportar para a entrada dos novos produtos. Acima deste limite a produtividade da instalação será comprometida. Portanto, o número de produtos que

podem ser introduzidos dentro destes limites representa a Flexibilidade de Produto da instalação.

A Flexibilidade de Produto da instalação está diretamente ligada à agilidade de resposta às necessidades do mercado. O sucesso em mercados competitivos requer sempre ciclos cada vez menores de introdução de novos produtos e serviços no mercado. Para o Prêmio Nacional da Qualidade (PNQ, 1995) uma capacidade de resposta mais rápida e mais flexível no atendimento aos clientes constitui um requisito fundamental na gestão de negócio. Melhorias relevantes no tempo de resposta freqüentemente exigem que as estruturas organizacionais e os processos de trabalho sejam simplificados. Para concretizar tal melhoria deve-se dispensar maior atenção a medições dos tempos de ciclo. Outros importantes benefícios deste enfoque é que as melhorias obtidas no tempo de resposta são, muitas vezes acompanhadas de melhorias simultâneas em termos de estrutura organizacional, qualidade e produtividade. Por esta razão é benéfico considerar em conjunto os objetivos do tempo de resposta, qualidade e produtividade.

Pela definição, a Flexibilidade de Produto é obtida com a introdução de novos e diferentes produtos. Portanto, usando uma escala similar ao $E_{k1, k2}$, pode-se dizer que todos os novos produtos têm uma unidade de diferença com relação a família de produção corrente. Isto implica que, para cada mudança de estado, a instalação ganha uma unidade de mudança, a qual seria representada graficamente por uma função constante. Segue que a Capacidade para Flexibilidade de Produto é definida somente pela grandeza de Ψ_C . O número de estados em Ψ_C é igual ao número máximo de produtos que pode ser economicamente introduzido durante um intervalo de tempo padrão.

Considere U_1 e U_2 como sendo a importância relativa assumida para o custo e tempo de *setup* respectivamente, de modo que $U_1 + U_2 = 1,0$. Então a medida de Capacidade para Flexibilidade de Produto $PFLX_{cap}$ é:

$$PFLX_{cap} = U_1 \frac{\alpha_H H_{std}}{H_{new}} + U_2 \frac{\alpha_S T_{std}}{S_{new}} \quad (12)$$

onde:

T_{std} = Intervalo de Tempo Padrão.

H_{std} = Custo total despendido à produção durante o intervalo de tempo padrão (T_{std}).

S_{new} = Tempo de preparação da instalação para a produção de um novo produto.

H_{new} = Custo médio de preparação da instalação para a produção de um novo produto.

α_S = Porcentagem máxima aceitável de tempo que pode ser suportado no *setup*.

α_H = Porcentagem máxima aceitável de custo que pode ser suportado no *setup*.

O Intervalo de Tempo Padrão será dependente do tempo do ciclo de produção da instalação produtiva.

Poderia ser possível um conjunto igual para o intervalo entre adições esperadas. Em geral, espera-se que T_{std} seja tal que $\alpha_H * H_{std} \geq H_{new}$ e $\alpha_S * T_{std} \geq S_{new}$. A medida assume que a instalação sofre mudanças profundas durante a adição do produto. S_{new} e H_{new} são facilmente modificados para situações nas quais estas mudanças não são vantajosas. Note que $PFLX_{cap}$ tenderá ao infinito quando o custo e o tempo forem próximos de zero no *setup*.

A mudança total experimentada pela instalação durante cada subperíodo é igual ao número de produtos introduzidos. Considere Q_t sendo o número de novos produtos adicionados em cada subperíodo. Então a medida para Flexibilidade Real do Produto ($PFLX_{T,act}$) é:

$$PFLX_{T,act} = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T Q_t \quad (13)$$

O resultado da equação (13) assume que o número de produtos acrescidos será sempre menor que $PFLX_{cap}$. Na realidade, é possível que $Q_t > PFLX_{cap}$, mas isto implica que o esforço total de adição de novos produtos é excessivo, sendo aceitável para companhias porém, não representativo de uma conduta flexível.

4.1.5 Flexibilidade de Volume (VFLX - Volume Flexibility)

Uma das maiores incertezas de uma companhia pode ser quanto a demanda para seus produtos. Devido a necessidade de reduzir seus níveis de estoques, as empresas estão sendo forçadas a coordenar suas taxas de produção mais próximas de suas taxas de demanda. Isso implica que uma companhia muitas vezes teria que operar suas instalações abaixo de 100% da capacidade.

A Flexibilidade de Volume é uma medida da habilidade que a companhia possui de operar economicamente mesmo abaixo dos 100% de capacidade. Portanto, com relação a Flexibilidade de Volume, o estado da instalação é descrito por seu nível corrente de capacidade de utilização.

Em adição às mudanças das taxas de produção, uma empresa poderia também manter inventários de produtos acabados visando amenizar os problemas decorridos da incerteza de demanda. Portanto, a habilidade para manter inventário seria também considerada na estimativa da Flexibilidade de Volume. No entanto, serão focalizadas neste estudo, apenas as mudanças na taxa de produção.

Em qualquer instalação, o custo total de produção é formado por uma componente de custo fixo e uma de custo variável. Considerando-se que o rendimento geral por item produzido é constante, então há um volume mínimo acima do qual a instalação é economicamente viável.

Com relação a Flexibilidade de Volume, a diferença entre dois estados é dada pela diferença de suas taxas de produção. A medida de Capacidade de Flexibilidade de Volume ($VFLX_{cap}$) é simplesmente o número de estados possíveis:

$$VFLX_{cap} = 1 - V_{min} \quad (14)$$

O valor de V_{\min} (Volume Mínimo) é obtido a partir da comparação da instalação real com uma instalação hipotética na qual o volume máximo de produção é igual ao volume de ponto de equilíbrio (V_{BE}) da instalação real. Na *Figura 7* a instalação hipotética é representada pela linha tracejada. Pode-se afirmar que esta instalação será lucrativa apenas quando atingir 100 % de utilização.

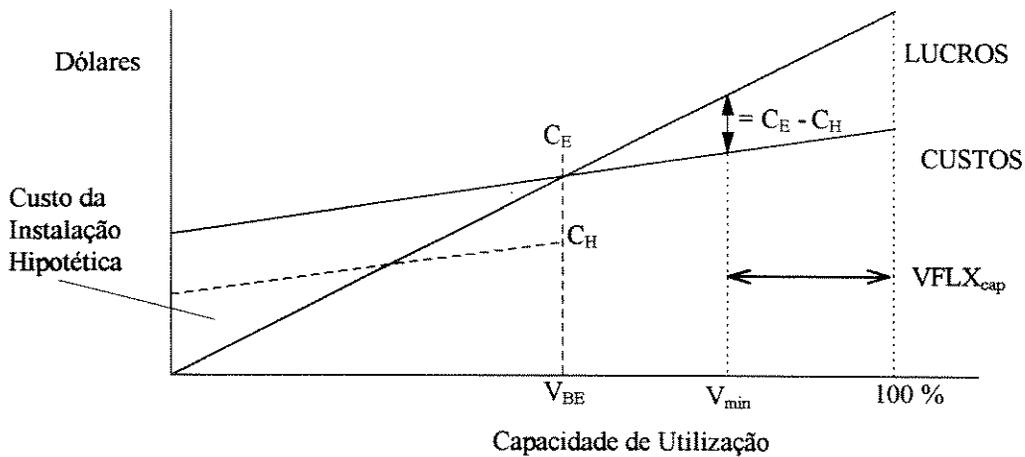


Figura 7: Medida de Flexibilidade de Volume com custo de produção linear (DAS, 1996, p.83)

Considere C_H como sendo o custo para operar a instalação hipotética a 100 % de utilização e C_E o custo para operar a instalação original em V_{BE} . Note que C_E é igual ao máximo lucro gerado pela instalação hipotética. Então, do ponto de vista econômico, a instalação original deve gerar lucros no mínimo igual a $C_E - C_H$ para justificar sua existência. Com base nos argumentos acima, uma instalação pode operar economicamente somente quando a utilização estiver entre V_{\min} e 100 %, onde V_{\min} é a taxa de utilização na qual o lucro é igual a $C_E - C_H$.

Quando $V_{\min} = 0$, então $VFLX_{cap} = 100\%$, o qual é a máxima possibilidade de flexibilidade de volume. Observe que diferentemente das outras flexibilidades, há um limite superior ao $VFLX_{cap}$. Isto porque a máxima capacidade de utilização está limitada em 100%.

Para computar a Flexibilidade Real de Volume, durante cada subperíodo faz-se necessário os valores das taxas máximas e mínimas da capacidade de utilização. Considere VHI_t sendo a máxima capacidade de utilização em t , e VLO_t a mínima, então temos:

$$VFLX_{T,act} = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (VHI_t - VLO_t) \quad (15)$$

O resultado da equação (15) assume que $VLO_t \geq V_{min}$. Na realidade, é possível que $VLO_t < V_{min}$, mas isto implica que a instalação é operada com baixa capacidade e então não representativo de uma conduta flexível.

4.2 Conclusão do Capítulo

Além das considerações do início deste capítulo quanto às diretrizes básicas para a escolha do método de medição de desempenho, realiza-se neste desfecho, citações de outros pontos fundamentais que influenciam na referida escolha.

O método escolhido abrange as principais áreas do sistemas produtivo e organizacional de uma empresa. Ao avaliar-se a Flexibilidade de Máquina, Rotina e Processo, analisa-se as condições produtivas do sistema de manufatura, como por exemplo, os níveis de flexibilidade de uma máquina, o conjunto de possibilidades de se produzir um determinado produto, além de qualificar e quantificar os grupos de peças com as quais o sistema trabalha.

Atuando em conjunto, os três indicadores acima citados tornam-se mais eficientes que quando analisados isoladamente. Isto porque encontram-se interligados por um elevado número de dados em comum, porém com tratamentos matemáticos distintos.

Passando para uma esfera mais ampla, o indicador de Flexibilidade de Produto engloba informações sobre engenharia de projetos, custos e finanças, sendo capaz de mensurar a pré disposição da companhia para o lançamento (implementação) de novos produtos.

Finalmente, foi estudado o indicador de Flexibilidade de Volume que extrapola o ambiente fabril, buscando condições básicas na empresa para suportar as constantes mudanças

do ambiente⁸. Este indicador considera as condições mínimas necessárias para a continuidade dos métodos produtivos da empresa.

Aliado a estes cinco indicadores, utilizou-se dois níveis de medição. São eles, Capacidade de Flexibilidade e Flexibilidade Real. O primeiro visa mostrar as condições possíveis de serem alcançadas com o sistema produtivo corrente, enquanto que o segundo, Flexibilidade Real, tem por função informar a empresa das condições reais de seu sistema produtivo.

O presente estudo tem por objetivo aplicar os indicadores supra citados na tentativa de se avaliar suas características através de estudo de casos em duas empresas brasileiras, tendo em vista que o mesmo vem apresentando resultados satisfatórios em aplicações em empresas nos Estados Unidos da América (DAS, 1996).

⁸ Neste ponto, referimo-nos tanto ao ambiente diretamente ligado ao consumidor quanto ao indireto, ou seja, ligado a outro fabricante.

Capítulo 5

Otimização do Método e Resultados

Este capítulo tem por objetivo englobar toda a parte experimental desta tese. Duas empresas do setor metal mecânico da região de Campinas passaram pelo processo de levantamento de dados e aplicação do método.

Este capítulo encontra-se dividido em quatro partes, apresentando inicialmente o levantamento de dados realizado e respectivas análises. A segunda parte apresenta a otimização do método, na qual procura-se explicar as diversas etapas intermediárias e tabelas utilizadas que contêm os dados referentes à implementação do Método dos Níveis Múltiplos de Flexibilidade. A terceira seção abordará com maior ênfase, os resultados da aplicação do método, incluindo análises do ambiente real. E para encerrar o capítulo, a quarta seção será composta por simulações de ambiente.

5.1 Levantamento de Dados

Inicialmente, apresenta-se os dados obtidos durante as visitas realizadas nas duas empresas do setor metal mecânico, aqui denominadas por Instalação 1 e 2.

O presente levantamento está dividido em duas seções:

Seção A: Focaliza as mudanças relacionadas com a flexibilidade.

Seção B: Focaliza a aplicabilidade dos tipos específicos de flexibilidade.

Visando situar o leitor, cabe registrar algumas informações quanto ao nível organizacional destas empresas. A Instalação 1 encontra-se em fase final de certificação conforme a norma ISO 9001, enquanto a Instalação 2 alcançou recentemente a certificação conforme a norma ISO 9002. Considera-se válido informar também que ambas as empresas disputam a liderança nos mercados em que atuam, reconhecidas pelo histórico de qualidade e bons produtos além de serem representadas em todo o território nacional.

5.1.1 Levantamento de Dados da Instalação 1

A instalação 1 é classificada como pequena empresa e fabrica equipamentos para ar comprimido e pintura industrial. Situada na cidade de Pedreira, interior de São Paulo, a empresa possui 17 colaboradores em seu quadro de funcionários e conta com uma linha 12 produtos.

Em termos atuais, a maior preocupação da diretoria é quanto a adaptação da empresa para atender a uma demanda por maior variedade de produtos, além da preocupação com o elevado período para a implementação de novos produtos.

Quanto ao sistema de manufatura, a empresa trabalha com produção intermitente e arranjo físico funcional.

Os recursos disponíveis no sistema produtivo são os seguintes:

- 4 Tornos automáticos dos quais 1 é dedicado para uma única peça
- 3 Furadeiras destinadas a escarear peças provenientes do torno
- 3 Furadeiras dedicadas à furação do corpo das peças injetadas
- 2 Postos de usinagem desenvolvidos pela própria empresa
- 4 Tornos revolver (sub utilizados)
- 2 Bancada para montagem
- 2 Bancada para teste
- 2 Máquinas para tamboreamento
- 1 Setor de embalagem

O material do corpo das peças variam entre alumínio, *zamack* e plástico. Os grupos de produtos são os seguintes:

- Bicos de ar
- Pistolas para pintura
- Pulverizadores
- Abafadores de ruído
- Prolongadores

Verifica-se que o processo produtivo é bastante enxuto, apresentando pouca ociosidade. Até o momento, a empresa não enfrentou dificuldades relativas a gargalos de produção, porém, com a entrada de três novos produtos prevista para 1998, estima-se um aumento considerável na solicitação das máquinas, podendo ocasionar sérios problemas de gargalo.

Durante o levantamento de dados, diversos pontos importantes foram elucidados. Apresenta-se a seguir as informações coletadas durante o levantamento de dados realizado na empresa:

Seção A

Questão 1) Quanto às Mudanças Externas mais importantes que ocorreram na companhia e suas respectivas classificações.

- (1) Volume de Demanda
- (2) Variedade de Demanda
- (3) Condições do Fornecedor
- (4) Outros.

Tabela 3: Mudanças Externas relativas a Instalação 1

	MUDANÇAS EXTERNAS	CLASSIFICAÇÃO
EC1	Aumento nas vendas com elevação do faturamento em 40 %	1
EC2	Troca de fornecedor implicando em aumento de operações internas (polimento)	3
EC3	Volume de vendas do "Pulverizador de Plástico" dobrou durante o ano	2
EC4	Elevação dos preços de peças injetadas de um determinado fornecedor	3
EC5	Variação das características físicas do material - Dureza do alumínio	3

Questão 1.1) Quanto às possíveis causas que motivaram estas mudanças externas.

Tabela 4: Causas das mudanças externas (Instalação 1)

	POSSÍVEIS CAUSAS
EC1	Trabalho mais eficiente da área de vendas, maior variedade dos produtos oferecidos
EC2	Atraso nas entregas do antigo fornecedor de peças injetadas
EC3	Lançamento de um bico longo para o pulverizador de plástico (complemento ao produto principal)
EC4	Elevação do preço da matéria prima <i>zamack</i> em termos internacionais
EC5	Baixa Qualidade de fornecimento

Questão 2) Mudanças Internas mais importantes que ocorreram na companhia e suas respectivas classificações.

- 1) Geração de Mudanças Internas como consequência de mudanças externas
- 2) Geração de Mudanças Internas como uma consequência de políticas internas
- 3) Geração de Mudanças Internas como consequência de falhas internas
- 4) Outros

Tabela 5: Mudanças Internas relativas a Instalação 1

	MUDANÇAS INTERNAS	CLASSIFICAÇÃO
IC1	Automatização de três máquinas, ocasionando ociosidade na mão de obra	2
IC2	Melhor desempenho do Departamento de Vendas	2
IC3	Melhor aproveitamento da mão de obra excedente	2
IC4	Automação dos processos surgem em função da maior competitividade do mercado	2
IC5	Investimentos na área de projetos e processos	3

Questão 2.1) Quanto às possíveis causas que motivaram estas mudanças internas.

Tabela 6: Causas das mudanças internas (Instalação 1)

	POSSÍVEIS CAUSAS
IC1	Necessidade de redução de custos de manufatura
IC2	Ampliação da linha de produtos e maior aproximação do mercado
IC3	Política de preservação do quadro de funcionários, mesmo objetivando a redução de custos
IC4	Redução de custos, aumento da margem de lucro, melhoria da qualidade e da repetibilidade de rotinas operacionais.
IC5	Otimização dos recursos produtivos objetivando facilitar o lançamento de novos produtos. Com relação ao processo, atualização de folhas de procedimentos para orientar a produção

Questão 3) Quanto às ações tomadas com o intuito de neutralizar as mudanças.

EC4 - Desenvolvimento de novos fornecedores e negociação buscando material alternativo para o *zamack*.

EC5 - Entendimentos com o fornecedor visando trocar o lote remanescente de alumínio de dureza elevada.

Seção B

Flexibilidade de Máquina

Quanto à existência de máquinas gargalos na empresa.

- Três tornos automáticos constantemente em produção, mas que não representam gargalos.
- Um posto de usinagem para escoar a produção dos tornos automáticos.
- Outro posto de usinagem para fabricar o corpo de todas as peças injetadas.

Flexibilidade de Rotina

Quanto ao número de operações gargalos na empresa.

- Não possui operação gargalo.

Quanto ao número médio de caminhos pelos quais um produto pode ser processado.

- Em média, dois caminhos para cada produto.

Flexibilidade do Processo

Quanto ao número de produtos que o sistema foi designado a produzir.

- 15 produtos.

Quanto ao número de produtos que o sistema normalmente produz.

- 10 produtos.

Flexibilidade de Produto

Quanto ao tempo do ciclo de um novo produto (do projeto à fabricação).

- Muito elevado, aproximadamente 1,5 anos.

Quanto ao intervalo de tempo que um novo produto é desenvolvido.

- De 1 a 5 anos.

5.1.2 Análise dos Dados Obtidos da Instalação 1

Observa-se que a empresa encontra-se em uma fase bastante equilibrada, alcançando novos mercados e investindo em melhorias no processo. Estes dados são confirmados ao verificar-se o esforço para aumentar a linha de produtos, tentando atender setores que não eram priorizados até o momento, além de constatar-se tentativas constantes de redução de custos no chão de fábrica, através de otimização dos recursos produtivos.

Observou-se que não há preocupação com gargalos de máquina ou operações e que as instalações estão trabalhando com aproximadamente 65 % de capacidade.

A maior preocupação da diretoria encontra-se no tempo de lançamento de novos produtos para acompanhar a agilidade do mercado, porém sem perder de vista a imagem da companhia perante os clientes.

5.1.3 Levantamento de Dados da Instalação 2

A instalação 2 é uma filial alemã fabricante de selos mecânicos. A fábrica esta localizada em Campinas e possui um quadro de 80 funcionários. A empresa possui uma rede de escritórios nas principais capitais brasileiras perfazendo um total de 108 funcionários.

A empresa oscila entre a segunda e terceira colocada no mercado de selos mecânicos, disputando com outras empresas transnacionais.

Devido o elevado número de pedidos unitários, a empresa aplica tecnologia de grupo na manufatura visando reduzir custos com *setup*. Os recursos disponíveis no sistema produtivo são os seguintes:

3 Serras de fita

8 Tornos mecânicos

1 Torno a controle numérico

5 Furadeiras (três delas possuem dispositivos adaptados)

2 Fresadoras

3 Retíficas

1 Setor de inspeção e medição

1 Setor de embalagem

Os materiais mais utilizados são o aço inoxidável (em barras e anéis) e artefatos de borracha. O processo de usinagem, utiliza-se de ferramentas universais, porta ferramentas *standard* e pastilhas de metal duro.

Os tipos de peças produzidas são as seguintes:

Peças tipo carcaça para o selo mecânico;

Peças tipo eixo para o selo mecânico;

Acessórios especiais (parafusos, arruelas, conforme o projeto do produto final).

Apresenta-se a seguir as informações coletadas durante o levantamento de dados:

Questão 1) Quanto às Mudanças Externas mais importantes que ocorreram na companhia e suas respectivas classificações.

- (1) Volume de Demanda
- (2) Variedade de Demanda
- (3) Condições do Fornecedor
- (4) Outros.

Tabela 7: Mudanças Externas relativas a Instalação 2

	MUDANÇAS EXTERNAS	CLASSIFICAÇÃO
EC1	Volume mínimo de fornecimento de barras de aços ou artefatos de borracha são bastante elevados	3
EC2	Aumento da procura por selos mecânicos em diversos setores industriais do país	1
EC3	Demanda de mercado constante para alguns tipos de selos mecânicos	2

Questão 1.1) Quanto às possíveis causas que motivaram estas mudanças externas.

Tabela 8: Causas das mudanças externas (Instalação 2)

	POSSÍVEIS CAUSAS
EC1	Elevado poder de barganha dos fornecedores
EC2	Número crescente de máquinas importadas no país
EC3	Aumento do número de clientes de um determinado segmento de mercado

Questão 2) Mudanças Internas mais importantes que ocorreram na companhia e suas respectivas classificações.

- 1) Geração de Mudanças Internas como consequência de mudanças externas
- 2) Geração de Mudanças Internas como uma consequência de políticas internas
- 3) Geração de Mudanças Internas como consequência de falhas internas
- 4) Outros

Tabela 9: Mudanças Internas relativas a Instalação 2

	MUDANÇAS INTERNAS	CLASSIFICAÇÃO
IC1	Estocagem de barras de aços e artefatos de borracha	2
IC2	Desativação de linha de produtos	3
IC3	Início de uma mini célula de manufatura	1

Questão 2.1) Quanto às possíveis causas que motivaram estas mudanças internas.

Tabela 10: Causas das mudanças internas (Instalação 2)

	POSSÍVEIS CAUSAS
IC1	Política da empresa de minimizar o prazo de entrega de seus produtos
IC2	A linha de produção em questão exigia grande variedade de produtos para uma demanda muito pequena no Brasil. Optou-se por importar da matriz alemã.
IC3	Aumento na demanda por um determinado tipo de selo mecânico

Flexibilidade de Máquina

Quanto à existência de máquinas gargalos na empresa.

- Em 80 % do tempo, a demanda de serviço é maior que a capacidade instalada.

Flexibilidade de Rotina

Quanto ao número de operações gargalos na empresa.

- Não possui operação gargalo.

Quanto ao número médio de caminhos pelos quais um produto pode ser processado.

- Em média, dois caminhos para cada produto.

Flexibilidade do Processo

Quanto ao número de produtos que o sistema foi projetado para produzir.

- Não informado

Quanto ao número de produtos que o sistema normalmente produz.

- Não informado

Flexibilidade de Produto

Quanto ao tempo do ciclo de um novo produto (do projeto à fabricação).

- 10 dias

Quanto ao intervalo de tempo que um novo produto é desenvolvido.

- No mínimo 4 meses

5.1.4 Análise dos Dados Obtidos da Instalação 2

Apesar de situar-se como líder de mercado, a empresa depara-se com problemas relativos a variação na demanda de mercado. Este problema exige da companhia respostas rápidas em termos de flexibilidade de máquina, processo e rotina.

O problema acentua-se ao lembrarmos que a maioria dos pedidos recebidos são gerados a partir de uma manutenção corretiva no cliente⁹, ou seja, a máquina em questão está parada.

Quanto à flexibilidade de produto e volume, considera-se válidas tais análises no sentido de indicar as situações limites de produção, de modo a evitar problemas como sobrecargas do sistema.

5.2 Otimização do Método

Esta seção tem por objetivo levar ao conhecimento do leitor, as diversas etapas desenvolvidas para a resolução eletrônica do método dos Níveis Múltiplos de Flexibilidade.

Apresenta-se inicialmente as tabelas referentes aos dados necessários para o cálculo da Flexibilidade de Máquina, Rotina, Processo, Produto e Volume para as duas instalações visitadas.

As tabelas a seguir, de 11 a 20, apresentam os dados obtidos durante visitas realizadas às instalações produtivas.

As Tabelas 11 e 16 apresentam as eficiências de máquina (e_{ij}) em determinadas operações, para as instalações 1 e 2, respectivamente. Para ambas as instalações adotou-se a eficiência mínima aceitável (q) como sendo 0,75. Este dado foi apurado durante entrevista com o responsável pela manufatura.

⁹ Citando palavras do próprio gerente industrial da empresa, “Ninguém se preocupa em comprar um selo mecânico para guardá-lo de reserva”.

As Tabelas 12 e 17 identificam as Rotinas de Produção ($Z_{k,r,t}$). Utilizam-se de números binários para discriminar o instante (t) que o produto (k) é fabricado, segundo a rota (r).

As Tabelas 13 e 18 fornecem os tempos necessários para a fabricação dos produtos (k) estudados. Estes tempos surgem em função da Máquina (j), Rotina (r) e Operação (i) utilizadas, conforme a necessidade do processo.

As Tabelas 14 e 19 apresentam a Diferenciação de Produtos por máquina, segundo três critérios: $\Delta\text{Oper}_{k_1,k_2,j}$, $\Delta\text{Habil}_{k_1,k_2,j}$ e $\Delta\text{Prod}_{k_1,k_2,j}$ (ver pagina 52). Além de informar a importância de cada critério de diferenciação.

As Tabelas 15 e 20 apresentam dados para o cálculo da Flexibilidade de Produto e Volume das instalações 1 e 2, respectivamente. O número de subperíodos apresentado reflete os atributos produtivos de maior importância para a empresa, por exemplo, o período contábil da empresa ou o período entre duas compras. Considera-se então, o lançamento de novos produtos (Q_t), a Capacidade Máxima de Volume ($\text{VHI}_t\%$) e a Capacidade Mínima de Volume ($\text{VLO}_t\%$) ocorrida em cada subperíodo.

Tabela 11: Eficiência de Máquina (e_{ij}) da instalação 1Eficiência Aceitável (q) = 0,75Número de Máquinas (M) = 3Eficiência das Máquinas (e_{ij}):

Operação	Máquina		
	j = 1	j = 2	j = 3
i = 1	1	0	0
i = 2	0,9	1	0
i = 3	0,8	0,7	1

Tabela 12: Rotina de Produção ($Z_{k,r,t}$) da Instalação 1

Sub período	Produto k = 1		Produto k = 2		Produto k = 3	
	r = 1	r = 2	r = 1	r = 2	r = 1	r = 2
1	1	0	1	0	1	0
2	1	1	1	0	1	1
3	1	1	1	0	0	0
4	1	0	1	1	0	0
5	1	0	1	0	0	0
6	1	0	1	0	1	0
7	1	1	1	0	1	1
8	0	1	1	1	0	0

Tabela 13: Rotas de manufatura dos produtos ($P_{k,r,j}$) da Instalação 1

Rotas	Produto k = 1			Produto k = 2			Produto k = 3		
	j = 1	j = 2	j = 3	j = 1	j = 2	j = 3	j = 1	j = 2	j = 3
Rotina = 1	26	10	5	26	0	5	19	8	3
Operações	1	2	3	1	0	3	1	2	3
	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rotina = 2	28	14	0	8	0	0	10	0	0
Operações	1	2	0	3	0	0	2	0	0
	0	0	0	0	0	0	3	0	0

Tabela 14: Diferenciação dos Produtos da Instalação 1

		Máquina j = 1		Máquina j = 2		Máquina j = 3	
		k2 = 2	k2 = 3	k2 = 2	k2 = 3	k2 = 2	k2 = 3
#Oper _{k1,k2,j}	k1 = 1	0,7	0,5	1	0,7	0,2	0,3
	k1 = 2		0,7		1		0,3
#Habil _{k1,k2,j}	k1 = 1	0,4	0,2	1	0,3	0,2	0,3
	k1 = 2		0,7		1		0,4
#Prod _{k1,k2,j}	k1 = 1	0,5	0,3	1	0,5	0,2	0,2
	k1 = 2		0,3		1		0,2
Importância dos Critérios	W1 = 0,25		W2 = 0,25		W3 = 0,25		W4 = 0,25

Tabela 15: Dados para Flexibilidade de Produto e Volume da Instalação 1

 $H_{std} = \$ 65000$ $H_{new} = \$ 15000$ $\alpha_h = 2 \%$ $V_{min} = 65 \%$ $T_{std} = 10$ meses $S_{new} = 1,5$ mês $\alpha_s = 2 \%$ $T = 12$ meses $U_1 = 0,4$ $U_2 = 0,6$

Subperíodo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Q_t	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0
VHI _t , %	55	60	70	70	75	75	75	70	70	70	60	55
VLO _t , %	50	55	65	65	70	70	70	65	65	65	55	50

Tabela 16: Eficiência de máquina (e_{ij}) da Instalação 2

Eficiência Aceitável (q) = 0,75
 Número de Máquinas (M) = 4
 Eficiência das Máquinas (e_{ij}):

Operação	Máquina			
	j = 1	j = 2	j = 3	j = 4
i = 1	1	0,8	0	0
i = 2	0	1	0	0
i = 3	0	0,8	1	1
i = 4	0	0,5	0	1

Tabela 17: Rotina de produção ($Z_{k,r,t}$) da Instalação 2

t	k = 1		k = 2		k = 3	
	r = 1	r = 2	r = 1	r = 2	r = 1	r = 2
1	1	0	1	0	1	0
2	1	0	1	1	1	0
3	1	0	0	1	1	0
4	1	1	1	1	0	0
5	0	0	0	0	0	1
6	1	1	0	0	1	0
7	1	0	0	0	1	0
8	0	0	0	0	1	0
9	0	0	1	0	1	1
10	0	0	1	1	1	1
11	1	0	0	1	0	0
12	1	0	1	1	0	0

Tabela 18: Rotinas de Fabricação dos Produtos ($P_{k,r,j}$) da Instalação 2

Rotas	Produto k=1				Produto k=2				Produto k=3			
	j = 1	j = 2	j = 3	j = 4	j = 1	j = 2	j = 3	j = 4	j = 1	j = 2	j = 3	j = 4
Rotina = 1	60	27	22	20	0	8	0	18	30	23	22	20
Operações	1	2	3	4	0	1	0	4	1	2	3	3
	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0
Rotina = 2	0	50	26	0	20	9	0	20	0	54	0	26
Operações	0	2	3	0	1	2	0	4	0	1	0	4
	0	3	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0

Tabela 19: Diferenciação de produtos da Instalação 2

		Máquina j = 1		Máquina j = 2		Máquina j = 3		Máquina j = 4	
		k2 = 2	k2 = 3						
#Oper _{k1,k2,j}	k1 = 1	0	0	0,6	0,3	1	0,5	1	0
	k1 = 2		0		0,1		1		1
#Habil _{k1,k2,j}	k1 = 1	0,2	0	0,7	0,2	1	0,2	0,2	0,2
	k1 = 2		0,2		0,5		1		0,2
#Prod _{k1,k2,j}	k1 = 1	0,2	0,2	0,7	0,5	1	0,5	0,7	0,2
	k1 = 2		0,2		0,3		1		0,5
Importância	Crítérios	W1 = 0,3		W2 = 0,2		W3 = 0,25		W4 = 0,25	

Tabela 20: Dados para Flexibilidade de Produto e Volume da Instalação 2

$H_{std} = \$ 260000$ $T_{std} = 60$ dias $T = 10$ meses
 $H_{new} = \$ 6500$ $S_{new} = 10$ dias $U_1 = 0,6$
 $\alpha_h = 2,5\%$ $\alpha_s = 2,5\%$ $U_2 = 0,4$
 $V_{min} = 55\%$

Subperíodo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Q_t	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0
$VH_t\%$	95	85	90	90	90	90	90	95	90	90
$VLO_t\%$	80	75	85	80	70	85	70	80	80	70

Apresenta-se a seguir uma proposta para resolução do método dos Níveis Múltiplos. Esta resolução será realizada no Microsoft® EXCEL FOR WINDOWS™, através de um grande número de tabelas vinculadas que proporcionarão maior agilidade na utilização do método.

O equacionamento eletrônico tem por objetivo viabilizar a aplicação e repetibilidade do método. Para a explanação do equacionamento, serão utilizados os dados referentes a Instalação 2 por serem mais abrangentes que os da Instalação 1.

Flexibilidade de Máquina MFLX

Para obter-se o indicador Capacidade de Flexibilidade de Máquina ($MFLX_{cap}$), aplica-se a equação (1) utilizando-se dos dados contidos na Tabela 16, tal como mostrado a seguir:

$$MFLX_{cap} = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M \left(\sum_{i=1}^N (e_{ij} | e_{ij} \geq q) - \text{Max}_{i=1}^N (e_{ij}) \right) \quad (1)$$

(Repetida)

Subtraindo-se as eficiências de máquina que encontram-se abaixo da eficiência aceitável (q), obtém-se a *Tabela 21*, representada por $e_{ij} \geq q$.

Tabela 21: Eficiência $e_{ij} \geq q$

	j = 1	j = 2	j = 3	j = 4
i = 1	1	0,8	0	0
i = 2	0	1	0	0
i = 3	0	0,8	1	1
i = 4	0	0	0	1

A seguir, realiza-se o somatório de cada coluna da *Tabela 21* e subtrai-se desse resultado o valor máximo encontrado na referida coluna.

Este procedimento resultará em quatro fatores (referentes às quatro máquinas j), os quais, somados entre si e divididos pelo número de máquinas resultará no indicador da Capacidade de Flexibilidade de Máquina.

$$MFLX_{cap} = \frac{0 + 1.6 + 0 + 1}{4} \quad MFLX_{cap} = 0,65$$

O Cálculo da Flexibilidade Real de Máquina ($MFLX_{T,act}$) requer a utilização das *Tabelas 16, 17, 18 e 21*.

$$MFLX_{T,act} = \frac{1}{MT} \sum_{j=1}^M \sum_{t=1}^T \left(\sum_{i=1}^N (e_{i,j} * x_{i,j,t}) \right) \quad (2)$$

(Repetida)

Primeiramente elaborase a *Tabela 22*, utilizando-se de elementos binários para identificar o instante que a operação i é realizada na máquina j , para a fabricação do produto k , na rota r .

Tabela 22: Utilização de máquina segundo o produto e operação

Produto		K = 1			k = 2			k = 3	
Máquina	Operação	Rotinas r			Rotinas r			Rotinas r	
	i	1	2		1	2		1	2
j = 1	1	1	0		0	1		1	0
	2	0	0		0	0		0	0
	3	0	0		0	0		0	0
	4	0	0		0	0		0	0
j = 2	i	1	2		1	2		1	2
	1	0	0		1	0		0	1
	2	1	1		1	1		1	0
	3	0	1		0	0		0	1
	4	0	0		0	0		0	0
j = 3	i	1	2		1	2		1	2
	1	0	0		0	0		0	0
	2	0	0		0	0		0	0
	3	1	1		0	0		1	0
	4	0	0		0	0		0	0
j = 4	i	1	2		1	2		1	2
	1	0	0		0	0		0	0
	2	0	0		0	0		0	0
	3	0	0		0	0		1	0
	4	1	0		1	1		0	1

Em seguida, elabora-se a *Tabela 23* que fornece os valores de $X_{i,j,t}$ utilizando-se de números binários, desta feita, para discriminar o instante t (proveniente da *Tabela 17*) em que a operação i está sendo produzida na máquina j , independentemente do produto ou rotina.

Tabela 23: Valores de $X_{i,j,t}$

t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1
$X_{1,1,t}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	1	0	1	1	0	0	0	1	1	0	1
$X_{1,2,t}$	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1
	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$X_{1,3,t}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$X_{1,4,t}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0
	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1

Por exemplo, $X_{1,1,1} = 1$ porque o produto $k=1$ foi fabricado pela máquina $j = 1$ na operação 1 (ver *Tabela 22*).

A *Tabela 24* multiplica dos dados da *Tabela 23* com os da *Tabela 21* ($e_{i,j} \geq q$). Realiza o somatório por coluna, subtraindo o valor máximo da mesma. Em seguida soma todos os resultados para cada máquina. Obtém-se assim quatro fatores que, quando somados entre si e divididos pelo produto de M e T , resultam no indicador de Flexibilidade Real de Máquina.

Tabela 24: Relação entre operação e subperíodo

t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
j = 1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0													0
j = 2	0,8	0,8	0	0,8	0,8	0	0	0	0,8	0,8	0	0,8	
	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	
	0	0	0	0,8	0,8	0,8	0	0	0,8	0,8	0	0	
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
0,8 0,8 0 1,6 0,8 0,8 0 0 1,6 1,6 0 0,8													8,8
j = 3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
0													0
j = 4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	
	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	
1 1 1 0 0 1 1 0 1 1 0 0													7

$$\boxed{\text{MFLX}_{T,\text{act}} = 0,33}$$

Flexibilidade de Rotina (RFLX)

Para obter-se os valores da Capacidade de Flexibilidade de Rotina, é preciso primeiramente encontrar os valores de diferenciação de rotinas ($D_{k,r1,r2}$ - Lê-se diferença entre rotinas r1 e r2 para o produto k) e de eficiência das rotinas ($\eta_{k,r}$ - Lê-se eficiência da rotina r1 para o produto k). Estes valores serão utilizados nos cálculos das equações 5, 6 e 7, respectivamente, juntamente com os valores da tabela 18.

$$D_{k,r1,r2} = \frac{\sum_{j=1}^M |P_{k,r1,j} - P_{k,r2,j}|}{\sum_{j=1}^M (P_{k,r1,j} - P_{k,r2,j})} \quad (3)$$

(Repetida)

Tabela 25: Valores de $D_{k,r1,r2}$

Diferenciação de Rotinas ($D_{k,r1,r2}$)		
D_{112}	D_{212}	D_{312}
0,52	0,31	0,51

$$\eta_{k,r1} = \frac{\text{Min}_{r=1}^R \left(\sum_{j=1}^M P_{k,r,j} \right)}{\sum_{j=1}^M P_{k,r1,j}} \quad (4)$$

(Repetida)

Tabela 26: Valores de $\eta_{k,r}$

Rendimento: $\eta_{k,r}$					
$\eta_{1,1}$	$\eta_{1,2}$	$\eta_{2,1}$	$\eta_{2,2}$	$\eta_{3,1}$	$\eta_{3,2}$
0,59	1	1	0,53	0,84	1

A Tabela 27 realiza a combinação entre as possíveis diferenças e eficiência de rotinas.

Tabela 27: Somatório de $D_{k,r1,r2}$ e $\eta_{k,r}$

	L=	3	2
$D_{112} + \eta_{1,1}$	1,11	-	
$D_{112} + \eta_{1,2}$	1,52	-	0,32
$D_{212} + \eta_{2,1}$	1,31	-	
$D_{212} + \eta_{2,2}$	0,84	-	0,07
$D_{312} + \eta_{3,1}$	1,35	-	
$D_{312} + \eta_{3,2}$	1,51	-	0,43

Aplicando-se a equação (5), obtém-se os valores da Capacidade de Flexibilidade de Rotina $RFLX_{cap}$.

$$RFLX_{cap} = \frac{1}{L(R-1)} \sum_{k=1}^L \sum_{\substack{r_1=1 \\ r_2 \neq r_1}}^R \sum_{r_2=1}^R (0,5(D_{k,r_1,r_2} + \eta_{k,r_2})) - 1 \quad (5)$$

(Repetida)

$$RFLX_{cap} = \frac{1}{3*(2-1)} (0,5*(2,633) + 0,5*(2,144) + 0,5*(2,859)) - 1 \quad RFLX_{cap} = 0,27$$

A *Tabela 28* utiliza-se de números binários para agrupar as semelhanças na utilização de rotinas através da comparação de $Z_{k,r,t}$ (*Tabela 17*) com os possíveis desdobramentos de rotinas. Esta tabela gera elementos necessários para o cálculo da Flexibilidade Real de Rotina do produto k no subperíodo t ($\rho_{k,t}$ - equação 6).

Tabela 28: Valores de $\rho_{k,t}$

	j = 1				j = 2				j = 3			
	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0
r = 1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0
r = 2	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
t = 1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0
t = 2	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0
t = 3	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0
t = 4	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
t = 5	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0
t = 6	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0
t = 7	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0
t = 8	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0
t = 9	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0
t = 10	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0
t = 11	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
t = 12	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
	2	6	0	4	4	2	2	4	2	6	1	3

$$\rho_{k,t} = \begin{cases} \frac{0,5}{h_{k,t} - 1} \sum_{r_1=1}^R \sum_{\substack{r_2=1 \\ r_2 \neq r_1}}^R (Z_{k,r_2,t} * Z_{k,r_1,t} (D_{k,r_1,r_2} + \eta_{k,r_2})) - 1, & \text{Quando } h_{k,t} \geq 2 \\ 0 & \text{Quando } h_{k,t} < 2 \end{cases} \quad (6)$$

(Repetida)

O indicador de Flexibilidade Real de Rotina para todos os produtos e período T é dado pela equação (7), neste caso tem-se:

$$RFLX_{T,act} = \frac{1}{LT} \sum_{k=1}^L \sum_{t=1}^T \rho_{k,t} \quad (7)$$

(Repetida)

$$RFLX_{T,act} = \frac{1}{3} * \left(\frac{2 * 0,32}{12 - 4} + \frac{4 * 0,07}{12 - 4} + \frac{2 * 0,43}{12 - 3} \right) \quad RFLX_{T,act} = 0,07$$

Flexibilidade do Processo (CMLX)

Para o cálculo da Capacidade de Flexibilidade do Processo, utiliza-se os dados da Diferenciação dos produtos (Tabela 19), além da diferença do tempo de processamento de máquina entre dois produtos ($\Delta Mach_{k_1,k_2}$) para, primeiramente, calcular o índice E_{k_1,k_2} (equação 9).

$$E_{k_1,k_2} = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M (W_1 * \Delta Oper_{k_1,k_2,j} + W_2 * \Delta Habil_{k_1,k_2,j} + W_3 * \Delta Prod_{k_1,k_2,j}) + W_4 * \Delta Mach_{k_1,k_2} \quad (9)$$

(Repetida)

$$\Delta Mach_{k_1,k_2} = \frac{\sum_{j \in \xi_{k_1,k_2}}^M |P_{k_1,r,j} - P_{k_2,r,j}|}{\sum_{j=1}^M (P_{k_1,r,j} - P_{k_2,r,j})} \quad (8)$$

(Repetida)

Tabela 29: Valores de $Mach_{k_1,k_2}$

$\Delta Mach$	k1,k2	k2,k3	k1,k3
r=1	0,14	0,14	0,15
r=2	0,33	0,4	0,03
	$\Delta Mach_{12} = 0,33$	$\Delta Mach_{23} = 0,14$	$\Delta Mach_{13} = 0,03$

Apresenta-se abaixo os valores de E_{k_1,k_2} :

Tabela 30: Valores de E_{k_1,k_2}

$E_{1,2}$	0,49637
$E_{1,3}$	0,21545
$E_{2,3}$	0,41262

Aplicando-se a equação (10), encontra-se a Capacidade de Flexibilidade de Processo ($CFLX_{cap}$).

$$CFLX_{cap} = \frac{1}{L} \sum_{k_1=1}^L \sum_{\substack{k_2=1 \\ k_1 \neq k_2}}^L E_{k_1, k_2} \quad (10)$$

(Repetida)

$$CFLX_{cap} = \frac{(0,49637 + 0,21545) + (0,49637 + 0,41262) + (0,21545 + 0,41626)}{3}$$

$$CFLX_{cap} = 0,75$$

O cálculo da Flexibilidade Real do Processo utiliza-se dos valores de E_{k_1, k_2} , além de uma comparação binária realizada na parte superior *Tabela 31*, relativa a utilização das rotinas de produção na instalação.

Tabela 31: Quadro comparativo de rotinas

	t=1	t=2	t=3	t=4	t=5	t=6	t=7	t=8	t=9	t=10	t=11	t=12
k=1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	1	1
k=2	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1
k=3	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0
1,1,1	0,75	0,75	0,75	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1,1,0	0	0	0	0,496	0	0	0	0	0	0	0,496	0,496
1,0,1	0	0	0	0	0	0,215	0,215	0	0	0	0	0
0,1,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0,413	0,413	0	0
1,0,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,1,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,0,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Aplicando-se a equação (11), temos:

$$CFLX_{T,act} = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \left(\frac{1}{\lambda_t} \sum_{k_1=1}^L \sum_{\substack{k_2=1 \\ k_1 \neq k_2}}^L (E_{k_1, k_2} * Y_{k_1, t} * Y_{k_2, t}) \right) \quad (11)$$

(Repetida)

$$CFLX_{T,act} = \frac{(0,75 * 3) + (0,496 * 3) + (0,215 * 2) + (0,413 * 2)}{12}$$

$$CFLX_{T,act} = 0,4162$$

Apresenta-se a seguir os cálculos para a obtenção dos indicadores de Flexibilidade de Produto e de Volume.

Ao contrário dos demais indicadores, o desenvolvimento dos indicadores de Flexibilidade de Produto e de Volume possuem aplicação imediata, não necessitando de tabelas intermediárias para a resolução. Aplicando-se a equação (12), encontra-se o valor para a Capacidade de Flexibilidade de Produto para a Instalação 2:

$$PFLX_{cap} = U_1 \frac{\alpha_H H_{Std}}{H_{new}} + U_2 \frac{\alpha_S T_{Std}}{S_{new}} \quad (12)$$

(Repetida)

$$PFLX_{cap} = 0,6 * \frac{0,025 * 260000}{6500} + 0,4 * \frac{0,025 * 60}{10} \quad \mathbf{PFLX_{cap} = 0,66}$$

Para a Flexibilidade Real do Produto temos:

$$PFLX_{T,act} = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T Q_t \quad (13)$$

(Repetida)

$$PFLX_{T,act} = \frac{3}{12} \quad \mathbf{PFLX_{T,act} = 0,3}$$

O mesmo ocorre para a Capacidade de Flexibilidade de Volume, utilizando a equação (14), tem-se:

$$VFLX_{cap} = 1 - V_{Min} \quad (14)$$

(Repetida)

$$VFLX_{cap} = 1 - 0,55 \quad \mathbf{VFLX_{cap} = 45 \%}$$

E, finalmente, para a Flexibilidade Real de Volume (15), tem-se:

$$VFLX_{T,act} = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (VHI_t - VLO_t) \quad (15)$$

(Repetida)

$$\mathbf{VFLX_{T,act} = 13 \%}$$

Completada a apresentação do método, pode-se efetivar as comparações entre os sistemas produtivos visitados, inferir sobre suas características e simular ambientes para testes de aplicação do método.

5.3 Resultados Obtidos

Esta seção apresenta diversos quadros comparativos das medidas de flexibilidade obtidas em ambas instalações.

Pela definição, uma máquina flexível seria capaz de desempenhar diversas operações com alta eficiência. A medida de Flexibilidade de Máquina indica o número médio de operações, em adição a suas melhores operações, que cada máquina é capaz de desempenhar.

Tabela 32: Valores de MFLX para as Instalações 1 e 2

	Instalação 1	Instalação 2
Capacidade de Flexibilidade de Máquina (MFLX _{cap})	0,57	0,65
Flexibilidade Real de Máquina (MFLX _{T, act})	0,21	0,33

Verifica-se que os valores obtidos para a Capacidade de Flexibilidade de Máquina em ambas instalações são relativamente baixos¹⁰. Estes resultados refletem a rigidez dos sistemas de manufatura, verificado primeiramente nas *Tabelas 11 e 16* (valores de eficiência de máquina), nos quais poucas máquinas são capazes de desempenhar mais de uma operação eficientemente.

A Flexibilidade Real de Máquina exibida pelas instalações é obtida através dos t subperíodos. Durante cada subperíodo, cada máquina desempenha zero ou mais operações.

Os resultados acima indicam que as máquinas concentram-se normalmente em uma única operação no decorrer do período. A Flexibilidade Real de Máquina é bastante influenciada pela Capacidade que, por ser de baixa expressão, acarreta esta drástica redução de flexibilidade.

¹⁰ Em adição a operação principal, as máquinas da Instalação 1 realizam as demais operações com eficiência média de 0,57, enquanto na Instalação 2 tem-se 0,65. Ambos os valores encontram-se abaixo da eficiência mínima aceitável ($q=0,75$).

A Flexibilidade de Rotina indica o número médio de rotinas adicionais e eficientes pelas quais o produto pode ser manufaturado.

Os resultados abaixo indicam que, em adição a uma rotina base, cada produto na Instalação 1 pode ser fabricado por 0,17 rotas eficientes, enquanto para a instalação 2, existem 0,20 rotas diferentes.

Tabela 33: Valores de RFLX para as Instalações 1 e 2

	Instalação 1	Instalação 2
Capacidade de Flexibilidade de Rotina (RFLX_{cap})	0,17	0,27
Flexibilidade Real de Rotina (RFLX_{T, act})	0,06	0,07

Revisando a teoria, tem-se que o ponto $0,5*(R-1)$ na escala de Flexibilidade de Rotina representa um limiar para a eficiência. Em geral, quando $RFLX_{cap} \leq 0,5*(R-1)$, implica que, apesar de úteis, as rotas alternativas não são atrativas. Portanto, conclui-se que apesar de ambas instalações possuírem algum tipo de rota alternativa para a fabricação de seus produtos, estas rotas não são eficientes e deveriam serem utilizadas apenas em circunstância de muita necessidade.

Conclui-se portanto que ambas instalações carecem de maior atenção com relação ao planejamento de processo, devendo o responsável por esta área desenvolver rotinas mais eficientes.

A Flexibilidade de Rotina apresenta-se sempre que há uma mudança de rota e pode ser medida através do “caminho” das mudanças de rota. Este processo é registrado pela medida de Flexibilidade Real de Rotina.

Os resultados obtidos para a Flexibilidade Real de Rotina em ambas instalações foram demasiadamente baixos. Tais resultados refletem o fato que na Instalação 1, somente 8 dos 32

subperíodos¹¹ não nulos utilizam-se de rotinas múltiplas, enquanto que na Instalação 2, a relação é de 8 para 25 subperíodos.

A Flexibilidade de Processo é a medida dos diferentes produtos que o FMS é capaz de produzir sem qualquer experiência anterior ou maiores esforços de *setup*.

Recorrendo a teoria, verifica-se que a Capacidade de Flexibilidade de Processo varia de zero a L-1, e representa o número de diferentes produtos, em adição a um produto inicial, que são produzidos simultaneamente. Pode-se observar que os produtos da Instalação 1 possuem um melhor grau de diferenciação que os produtos da Instalação 2.

Tabela 34: Valores de CFLX para as Instalações 1 e 2

	Instalação 1	Instalação 2
Capacidade de Flexibilidade de Processo (CFLX _{cap})	0,83	0,75
Flexibilidade Real de Processo (CFLX _{T, act})	0,63	0,42

Os valores acima para Capacidade de Flexibilidade de Processo podem serem interpretados como se a Instalação 1 equivallesse a uma instalação na qual fossem fabricados em um determinado instante, $1 + 0,83 = 1,83$ produtos completamente diferentes (e 1,75 para a Instalação 2). Os resultados indicam que os produtos escolhidos para análise em ambas as instalações são relativamente similares no tocante a ferramental, nível de tolerância, configuração geométrica e tempo de processamento.

A Flexibilidade Real de Processo considera quantos produtos diferentes são fabricados em um mesmo subperíodo (instante t). Observa-se que a relação entre CFLX_{T, act} e CFLX_{cap}, na Instalação 1 é da ordem de 76%, enquanto que na Instalação 2, esta relação cai para 56%. Esta queda no aproveitamento da flexibilidade deve-se, em partes aos subperíodos 5 e 8 quais a instalação 2 produz apenas um produto (Tabela 17), enquanto que a Instalação 1 produz os três produtos simultaneamente em diversos instantes (Tabela 12).

¹¹ Consta na teoria a necessidade de considerar para o cálculo da Flexibilidade Real de Rotina, apenas os subperíodos não nulos referentes a cada produto. Note que na tabela 17, o número total de subperíodo é 36. Subtraindo-se os 11 pares de subperíodos nulos (por exemplo em k1: t=5, t=8, entre outros), resultam 25 subperíodos não nulos.

A Flexibilidade do Produto está relacionada com os custos de tempo e *setup* necessários para a implementação de novos produtos à instalação. Ao considerar-se uma instalação flexível, pode-se esperar um custo não muito elevado para a implementação de um novo produto. No entanto, se a instalação for inflexível, provavelmente irá requerer maiores custos e tempos para esta implementação.

Tabela 35: Valores de PFLX para as Instalações 1 e 2

	Instalação 1	Instalação 2
Capacidade de Flexibilidade de Produto ($PFLX_{cap}$)	0,11	0,60
Flexibilidade Real de Produto ($PFLX_{T, act}$)	0,17	0,30

$PFLX_{cap}$ indica o número de produtos que podem ser economicamente adicionados no período de tempo padrão (T_{std}). Verifica-se que a Instalação 2 possui maior capacidade para adicionar novos produtos.

A Flexibilidade Real do Produto representa o número de produtos adicionados à produção no intervalo de tempo padrão (T_{std}). A incidência de novos produtos tem ocorrido com mais frequência na Instalação 2.

A Flexibilidade de Volume é uma medida da habilidade da companhia de continuar trabalhando mesmo abaixo da capacidade plena (100%). A Instalação 2 é mais flexível quanto a variação de volume que a Instalação 1. Esta característica da Instalação 2 é percebida em outros indicadores deste método haja vista que seu sistema produtivo possui taxas de utilização menores que a Instalação 1.

Tabela 36: Valores de VFLX para as Instalações 1 e 2

	Instalação 1	Instalação 2
Capacidade de Flexibilidade de Volume (VFLX _{cap})	35 %	45 %
Flexibilidade Real de Volume (VFLX _{T, act})	5 %	13 %

A Flexibilidade Real de Volume avalia a oscilação na capacidade produtiva no período padrão (T_{std}).

Verifica-se que a Instalação 2 possui maior flexibilidade, o que demonstra maior adaptabilidade às variações de demanda do mercado.

5.4 Testes de Cenários

A análise dos fatores internos e externos é uma ferramenta útil para entender a situação global da organização. Esta abordagem, segundo CERTO e PETER (1993), tenta equilibrar os pontos fortes e fracos internos de uma organização com as oportunidades e riscos que o ambiente externo apresenta.

Esta análise sugere que a principal questão enfrentada pela organização pode ser isolada através de uma cuidadosa análise de cada elemento crítico da empresa.¹²

Nesta seção, considera-se inicialmente os dados das Instalações 1 e 2 para propiciar a simulação dos ambientes otimista e pessimista, e analisar as modificações ocorridas na flexibilidade do sistema em decorrência das mudanças no ambiente.

¹² CERTO e PETER (1993) classifica os elementos críticos em quatro questões, a saber: Quais são os propósitos e objetivos da organização? Para onde a organização está indo no momento? Que fatores críticos a organização está enfrentando atualmente? e o que pode ser feito para alcançar os objetivos organizacionais de forma mais efetiva no futuro?

5.4.1 Cenário Otimista

Considera-se os seguintes fatores como sendo base de um cenário otimista para o setor metal mecânico:

- Redução das taxas de juros
- Abertura de linhas de crédito para financiamento da produção a taxas acessíveis
- Política industrial favorável ao pequeno e médio empresário
- Aumento do poder de compra do consumidor
- Maior flexibilidade das leis trabalhistas
- Reforma fiscal, reduzindo a carga tributária do setor produtivo

Conseqüências do cenário otimista nas Instalações 1 e 2:

O aumento do poder de compra do consumidor além das demais situações favoráveis ao crescimento industrial possibilitará maiores investimentos no setor produtivo tanto por parte dos fabricantes de máquinas quanto da empresas de diversos setores (alimentício, petroquímico, etc.)¹³. Estuda-se aqui o possível investimento em maquinário, através do desenvolvimento de novos dispositivos (alternativa de menor custo) ou da aquisição de máquinas-ferramentas com objetivo de suprir a demanda.

Para a Instalação 1 ocorre que a eficiência da máquina 2 ($j=2$, ver Tabela 11) sofrerá modificações nas operações 1 e 3, enquanto que, na Instalação 2, a máquina 2 ($j=2$, ver Tabela 16) sofrerá modificações nas operações 1 e 4 como segue:

Tabela 37: Eficiência de máquina no cenário otimista para Instalações 1 e 2.

Instalação 1			Instalação 2		
$e_{i,j}$	original	otimista	$e_{i,j}$	original	otimista
$e_{1,2}$	0	1	$e_{1,2}$	0,8	1
$e_{3,2}$	0,7	0,9	$e_{4,2}$	0,8	0,9

¹³ Cabe lembrar que ambas as instalações aqui estudadas têm o setor industrial como seus maiores clientes (consumidores indiretos).

A *Tabela 38* apresenta as modificações nas rotinas de fabricação de produtos decorrentes do investimento em equipamento proposto para o ambiente otimista. Considera-se uma melhoria na utilização dos recursos produtivos no ambiente otimista, quando comparado ao ambiente original. Por exemplo, a máquina 2 ($j=2$) realiza a operação 2 do produto $k=1$ em 14 segundos, no ambiente original (*Tabela 13*). No cenário otimista, a máquina 2, após sofrer modificações, efetua, além da operação 2, a operação 3, exigindo menor tempo para fabricação (Comparar com *Tabela 13* e *18*).

Tabela 38: Valores de P_{krj} no cenário otimista para as Instalações 1 e 2

	Produto	P_{krj}	Operação
Instalação 1	k=1	$P_{1,2,2} = 8$	i = 3
	k=2	$P_{2,2,2} = 28$	i = 1 e 3
	k=3	$P_{3,2,2} = 19$	i = 1 e 3
Instalação 2	k = 1	$P_{1,2,2} = 20$	i = 4
	k=2	$P_{2,2,2} = 16$	i = 4
	k=3	$P_{3,2,2} = 26$	i = 4

Segundo esta proposta, considera-se que o aumento de flexibilidade da máquina 2 acarretará uma elevação na ordem de 25% em seu volume de trabalho, assume-se portanto, que 2 subperíodos de cada produto k sejam elevados para a condição 1 (binário que representa a utilização da máquina em determinado instante).

$$Z_{1,2,1} \text{ e } Z_{1,2,6} = 1$$

$$Z_{2,2,2} \text{ e } Z_{2,2,3} = 1$$

$$Z_{3,2,4} \text{ e } Z_{3,2,5} = 1$$

Para a Instalação 2, o aumento de flexibilidade também acarretará uma elevação em torno de 25% no volume de trabalho destinado à máquina 2. Assume-se que três subperíodos de cada produto k sejam elevados para a condição 1 (binário que representa a utilização da máquina em determinado instante).

$$Z_{1,2,3} \text{ , } Z_{1,2,5} \text{ e } Z_{1,2,7} = 1$$

$$Z_{2,2,1} \text{ , } Z_{2,2,5} \text{ e } Z_{2,2,6} = 1$$

$$Z_{3,2,8} \text{ , } Z_{3,2,11} \text{ e } Z_{3,2,12} = 1$$

O cenário otimista poderá trazer investimentos também na área de projetos, facilitando a implementação de novos produtos. Neste caso, as variáveis relativas ao custo e tempo de preparação da instalação para a produção de novos produtos (H_{new} e S_{new}) ficariam da seguinte maneira:

Tabela 39: Custo e tempo para novos produtos no cenário otimista para as instalações 1 e 2.

	H_{new}	S_{new}
Instalação 1	\$ 11000	1 mês
Instalação 2	\$ 5000	7 semanas

O aumento de recursos na elaboração de novos produtos terá como consequência uma redução no prazo para implementação de novos produtos. Considera-se que a redução de custo seja de 30%, aumentando assim, o número de produtos lançados no mercado. E, finalmente, o aumento da demanda acarretará em uma melhor utilização da capacidade instalada, conforme demonstrado a seguir:

Tabela 40: Novos produtos e capacidade de utilização no cenário otimista (instalações 1 e 2)

Subperíodo	Instalação 1					Instalação 2		
	1	2	6	11	12	2	3	4
Q_t			1		1		1	
VHI_t %	70	75		75	75	95		100
VLO_t %	65	65		70	65	80		85

A Tabela 40 apresenta as modificações ocorridas nas instalações 1 e 2, em função das alterações propostas para o ambiente otimista (comparar com Tabelas 15 e 20).

5.4.2 Cenário Pessimista

Considera-se os seguintes fatores como sendo base de um cenário pessimista para o setor metal mecânico:

Taxa de juros continuam elevadas

Financiamento da produção precário, com taxas elevadas para o setor produtivo

Aumento do desemprego e a concentração de renda

Leis trabalhistas continuam inalteradas

Incidência de novos impostos sobre a produção ou aumento das alíquotas

Crescente importação de bens de consumo e de capital, reduzindo produção interna

Inserção de grandes grupos industriais estrangeiros no mercado brasileiro

Os dois últimos fatores acima apresentados estão diretamente relacionados com os novos padrões de comércio internacional baseados em alta tecnologia, na globalização de mercados e alta competitividade das empresas. Estes padrões podem funcionar como alavanca para a melhoria das empresas brasileiras desde que elas já venham trabalhando neste sentido.

Conseqüências do cenário pessimista nas Instalações 1 e 2:

O aumento da concentração de renda aliado ao crescente desemprego pode gerar um período de recessão, acarretando em quedas nas vendas e retração da atividade econômica.

Este quadro desfavorável poderá causar redução na demanda e conseqüentes demissões em ambas instalações, comprometendo a flexibilidade de máquina, rotina e processo. Verifica-se a ocorrência de queda no desempenho da máquina 1 na Instalação 1 e das máquinas 2 e 4 na Instalação 2, conforme demonstrado na *Tabela 41*, a seguir:

Tabela 41: Eficiência de máquina no cenário otimista para Instalações 1 e 2

Instalação 1			Instalação 2		
$e_{i,j}$	original	pessimista	$e_{i,j}$	original	pessimista
$e_{3,1}$	0,8	0,7	$e_{3,2}$	0,8	0,6
			$e_{4,4}$	1	0,8

A *Tabela 42* apresenta as modificações nas rotinas de fabricação de produtos decorrentes da baixa demanda e prováveis demissões de funcionários. Considera-se uma menor utilização dos recursos produtivos quando comparado ao ambiente original, como pode ser visto na máquina 1 ($j=1$) que realiza as operações 2 e 3 do produto $k=3$ em 10 segundos, no ambiente original (*Tabela 13*). No cenário pessimista, a máquina perde flexibilidade por falta de mão de obra e baixa demanda, então seu desempenho nesta operação passa a ser $P_{3,2,1} = 18$ segundos (Comparar com *Tabela 13* e 18).

Tabela 42: Valores de P_{krj} no cenário pessimista para as Instalações 1 e 2

	Produto	P_{krj}	Operação
Instalação 1	k=2	$P_{2,2,1} = 12$	i = 3
	k=3	$P_{3,2,1} = 18$	i = 2 e 3
Instalação 2	k=1	$P_{1,2,2} = 55$	i = 2 e 3
	k=2	$P_{2,2,4} = 24$	i = 4
	k=3	$P_{3,2,4} = 30$	i = 4

Considera-se que a queda de desempenho das máquinas unida à baixa demanda provoquem mudanças nas condições de produção, reduzindo o número de máquinas em funcionamento em determinados subperíodos. Ao contrário do ambiente otimista, o indicador binário de rotinas de produtos fabricados passará de 1 para 0, representando uma redução de aproximadamente 25% em relação ao ambiente original. Neste caso, tem-se:

Instalação 1

$$Z_{2,2,8} = 0$$

Instalação 2

$$Z_{2,2,10} \text{ e } Z_{2,2,11} \text{ e } Z_{2,2,12} = 0$$

A Tabela 43 apresenta a queda na demanda produtiva de ambas instalações. Observa-se que, diferentemente do ambiente otimista, o custos e tempo de preparação da instalação para a produção de novos produtos (H_{new} e S_{new}) ficam inalterados em relação ao cenário original. Neste caso, tem-se:

Tabela 43: Capacidade de utilização no cenário pessimista para as instalações 1 e 2

Subperíodo	Instalação 1			Instalação 2		
	5	6	7	1	6	9
VHI _t %	70	70	70	90	80	85
VLO _t %	65	65	65	70	70	70

5.4.3 Resultados das Simulações

Definidas todas as variáveis, apresenta-se a seguir um conjunto de tabelas que compõem os dados das Instalações 1 e 2 para os novos cenários. As Tabelas 44 e 45 apresentam o cenário otimista e pessimista para a Instalação 1, respectivamente, enquanto que as Tabelas 46 e 47 apresentam o cenário otimista e pessimista para a Instalação 2

Com o objetivo de facilitar a visualização das modificações propostas para cada ambiente, convencionou-se que os dados que estiverem em ***negrito e itálico*** representam as alterações descritas nas seções 5.4.1 e 5.4.2.

Tabela 44: Dados da Instalação 1 para o cenário otimista:

Eficiência Aceitável (q) = 0,75Número de Máquinas (M) = 3Eficiência das Máquinas (e_{ij}):

Operação	Máquina			
	j = 1	j = 2	j = 3	j = 4
i = 1	1	1	0	0
i = 2	0,9	1	0	0
i = 3	0,8	0,9	1	0
i = 4	0	0	0	0

t	k = 1		k = 2		k = 3	
	r = 1	r = 2	r = 1	r = 2	r = 1	r = 2
1	1	1	1	0	1	0
2	1	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	0	0
4	1	0	1	1	0	1
5	1	0	1	0	0	1
6	1	1	1	0	1	0
7	1	1	1	0	1	1
8	0	1	1	1	0	0

Rotas	Produto k = 1			Produto k = 2			Produto k = 3		
	j = 1	j = 2	j = 3	j = 1	j = 2	j = 3	j = 1	j = 2	j = 3
Rotina = 1	26	10	5	26	0	5	19	8	3
Operações	1	2	3	1	0	3	1	2	3
	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rotina = 2	28	8	0	8	28	0	10	19	0
Operações	1	2	0	3	1	0	2	1	0
	0	3	0	0	3	0	3	3	0

$H_{std} = \$ 65000$
 $H_{new} = \$ 11000$
 $\alpha_h = 2 \%$
 $V_{min} = 65 \%$

$T_{std} = 10$ meses
 $S_{new} = 1$ mês
 $\alpha_s = 2 \%$

$T = 12$ meses

Subperíodo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Q_t	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1
$VH_t \%$	70	75	70	70	75	75	75	70	70	70	75	75
$VLO_t \%$	65	65	65	65	70	70	70	65	65	65	70	65

Tabela 45: Dados da instalação 2 para o cenário otimista:

Eficiência Aceitável (q) = 0,75
 Número de Máquinas (M) = 4
 Eficiência das Máquinas (e_{ij}):

Operação	Máquina			
	$j = 1$	$j = 2$	$j = 3$	$j = 4$
$i = 1$	1	1	0	0
$i = 2$	0	1	0	0
$i = 3$	0	0,8	1	1
$i = 4$	0	0,9	0	1

t	k = 1		k = 2		k = 3	
	r = 1	r = 2	r = 1	r = 2	r = 1	r = 2
1	1	0	1	1	1	0
2	1	0	1	1	1	0
3	1	1	0	1	1	0
4	1	1	1	1	0	0
5	0	1	0	1	0	1
6	1	1	0	1	1	0
7	1	1	0	0	1	0
8	0	0	0	0	1	1
9	0	0	1	0	1	1
10	0	0	1	1	1	1
11	1	0	0	1	0	1
12	1	0	1	1	0	1

Rotas	Produto k = 1				Produto k = 2				Produto k = 3			
	$j = 1$	$j = 2$	$j = 3$	$j = 4$	$j = 1$	$j = 2$	$j = 3$	$j = 4$	$j = 1$	$j = 2$	$j = 3$	$j = 4$
Rotina = 1	60	27	22	20	0	8	0	18	30	23	22	20
Operações	1	2	3	4	0	1	0	4	1	2	3	3
	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0
Rotina = 2	0	20	26	0	20	16	0	20	0	26	0	26
Operações	0	2	3	0	1	2	0	4	0	1	0	4
	0	4	0	0	0	4	0	0	0	4	0	0

$H_{std} = \$ 260000$

$H_{new} = \$ 5000$

$\alpha_h = 2.5 \%$

$V_{min} = 55 \%$

$T_{std} = 60$ semanas

$S_{new} = 7$ semanas

$\alpha_s = 2.5 \%$

$T = 10$ meses

Subperíodo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Q_t	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0
$VH_t \%$	95	95	90	100	90	90	90	95	90	90
$VLO_t \%$	80	80	85	85	70	85	70	80	80	70

Tabela 46: Dados da Instalação 1 para o cenário pessimista:

Eficiência Aceitável (q) = 0,75Número de Máquinas (M) = 3Eficiência das Máquinas (e_{ij}):

Operação	Máquina		
	j = 1	j = 2	j = 3
i = 1	1	0	0
i = 2	0,9	1	0
i = 3	0,7	0,7	1
i = 4	0	0	0

t	k = 1		k = 2		k = 3	
	r = 1	r = 2	r = 1	r = 2	r = 1	r = 2
1	1	0	1	0	1	0
2	1	1	1	0	1	1
3	1	1	1	0	0	0
4	1	0	1	1	0	0
5	1	0	1	0	0	0
6	1	0	1	0	1	0
7	1	1	1	0	1	1
8	0	1	1	0	0	0

Rotas	Produto k = 1			Produto k = 2			Produto k = 3		
	j = 1	j = 2	j = 3	j = 1	j = 2	j = 3	j = 1	j = 2	j = 3
Rotina = 1	26	10	5	26	0	5	19	8	3
Operações	1	2	3	1	0	3	1	2	3
	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rotina = 2	28	14	0	12	0	0	18	0	0
Operações	1	2	0	3	0	0	2	0	0
	0	0	0	0	0	0	3	0	0

 $H_{std} = \$ 65000$ $H_{new} = \$ 15000$ $\alpha_h = 2 \%$ $V_{min} = 65 \%$ $T_{std} = 10$ meses $S_{new} = 1,5$ mês $\alpha_s = 2 \%$ $T = 12$ meses $U_1 = 0,4$ $U_2 = 0,6$

Subperíodo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Q_t	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0
$VHI_t \%$	55	60	70	70	70	70	70	70	70	70	60	55
$VLO_t \%$	50	55	65	65	65	65	65	65	65	65	55	50

Tabela 47: Dados da Instalação 2 para o cenário pessimista:

Eficiência Aceitável (q) = 0,75Número de Máquinas (M) = 4Eficiência das Máquinas (e_{ij}):

Operação	Máquina			
	j = 1	j = 2	j = 3	j = 4
i = 1	1	0,8	0	0
i = 2	0	1	0	0
i = 3	0	0,6	1	1
i = 4	0	0,5	0	0,8

t	k = 1		k = 2		k = 3	
	r = 1	r = 2	r = 1	r = 2	r = 1	r = 2
1	1	0	1	0	1	0
2	1	0	1	1	1	0
3	1	0	0	1	1	0
4	1	1	1	1	0	0
5	0	0	0	0	0	1
6	1	1	0	0	1	0
7	1	0	0	0	1	0
8	0	0	0	0	1	0
9	0	0	1	0	1	1
10	0	0	1	0	1	1
11	1	0	0	0	0	0
12	1	0	1	0	0	0

Rotas	Produto k = 1				Produto k = 2				Produto k = 3			
	j = 1	j = 2	j = 3	j = 4	j = 1	j = 2	j = 3	j = 4	j = 1	j = 2	j = 3	j = 4
Rotina = 1	60	27	22	20	0	8	0	18	30	23	22	20
Operações	1	2	3	4	0	1	0	4	1	2	3	3
	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0
Rotina = 2	0	55	26	0	20	9	0	24	0	54	0	30
Operações	0	2	3	0	1	2	0	4	0	1	0	4
	0	3	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0

 $H_{std} = \$ 260000$ $H_{new} = \$ 6500$ $\alpha_h = 2.5 \%$ $V_{min} = 55 \%$ $T_{std} = 60$ dias $S_{new} = 10$ dias $\alpha_s = 2.5\%$ $T = 10$ meses

Subperíodo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Q_t	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0
VHI _t %	90	85	90	90	90	80	90	95	85	90
VLO _t %	70	75	85	80	70	70	70	80	70	70

Apresenta-se a seguir um quadro comparativo (Tabela 48), entre o ambiente real e os testes de cenários. Para uma melhor visualização dos resultados, uma série de gráficos elaborados para cada tipo de flexibilidade será exposta. Enfim, discussões sobre os indicadores acompanharão os gráficos.

Tabela 48: Quadro geral dos resultados obtidos

Instalação 1				Instalação 2			
MFLX _{cap}	Amb. Real	Otimista	Pessimista	MFLX _{cap}	Amb. Real	Otimista	Pessimista
MFLX _{T,act}	0,57	1,20	0,30	MFLX _{T,act}	0,65	0,93	0,40
	0,21	0,90	0,08		0,33	0,58	0,22
RFLX _{cap}	Amb. Real	Otimista	Pessimista	RFLX _{cap}	Amb. Real	Otimista	Pessimista
RFLX _{T,act}	0,17	0,37	0,10	RFLX _{T,act}	0,27	0,16	0,30
	0,06	0,17	0,03		0,07	0,06	0,07
CFLX _{cap}	Amb. Real	Otimista	Pessimista	CFLX _{cap}	Amb. Real	Otimista	Pessimista
CFLX _{T,act}	0,83	0,83	0,83	CFLX _{T,act}	0,75	0,75	0,75
	0,63	0,73	0,63		0,42	0,57	0,37
PFLX _{cap}	Amb. Real	Otimista	Pessimista	PFLX _{cap}	Amb. Real	Otimista	Pessimista
PFLX _{T,act}	0,11	0,17	0,11	PFLX _{T,act}	0,66	0,87	0,66
	0,17	0,33	0,17		0,30	0,40	0,30
VFLX _{cap}	Amb. Real	Otimista	Pessimista	VFLX _{cap}	Amb. Real	Otimista	Pessimista
VFLX _{T,act}	35,00	35,00	35,00	VFLX _{T,act}	45,00	45,00	45,00
	5,00	5,83	5,00		13,00	14,00	14,50

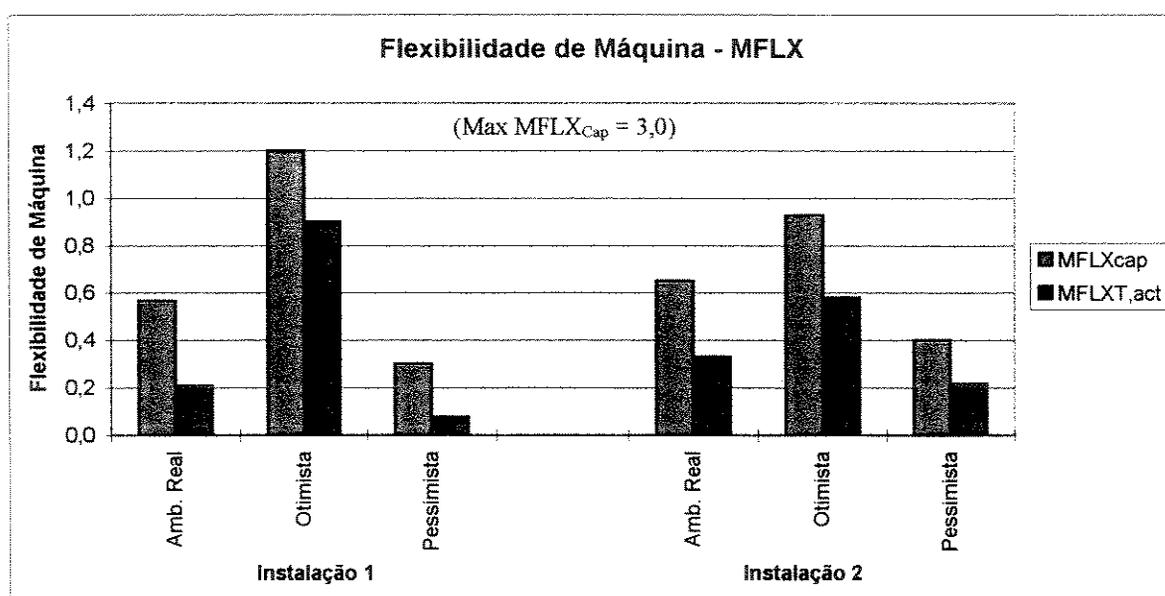


Figura 8: Flexibilidade de Máquina para as instalações 1 e 2

Observa-se através do gráfico de Flexibilidade de Máquina (Figura 8), grande sensibilidade do indicador MFLX para os estímulos do ambiente. Verifica-se que ao variar as condições de ambiente, passando de Ambiente Real para Ambiente Otimista e Real para Pessimista, os resultados sofreram fortes alterações em ambas instalações. Ocorreu aumento da Flexibilidade de Máquina quando da inserção de novos equipamentos às instalações (ver página 88) e redução da flexibilidade decorrente da decisão de demitir funcionários e, conseqüentemente, menor número de máquinas trabalhando (ver página 91).

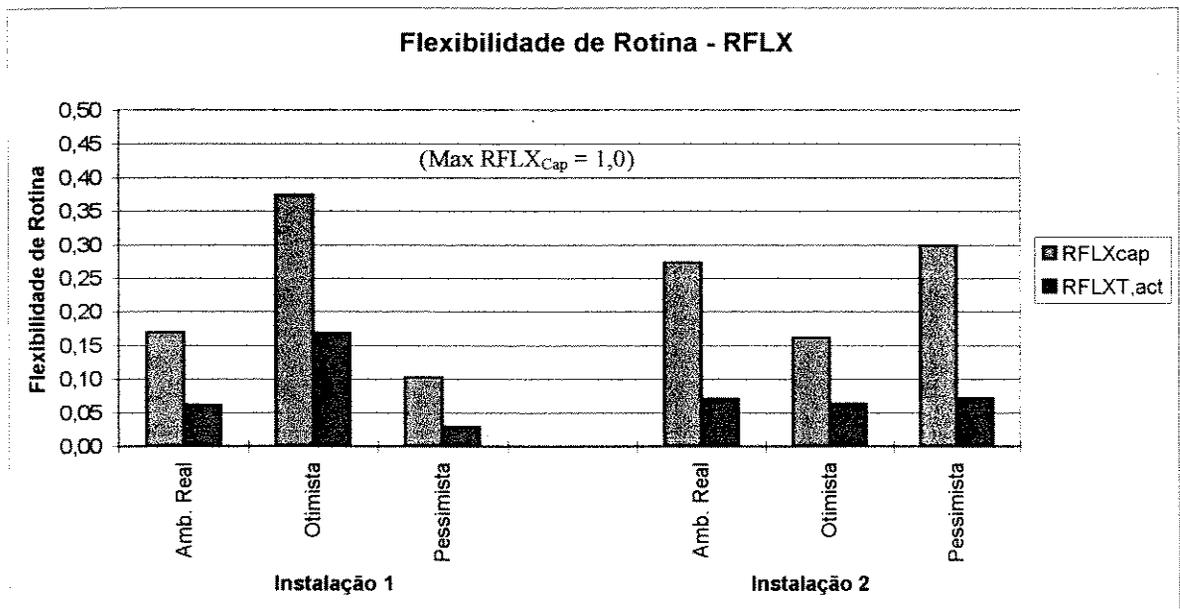


Figura 9: Flexibilidade de Rotina para as instalações 1 e 2

A Capacidade de Flexibilidade de Rotina da Instalação 2 sofre um processo inverso aos estímulos de cenário. Verifica-se a redução da flexibilidade ao se implementar o ambiente otimista e elevação da flexibilidade com o ambiente pessimista. Tendo em vista que este indicador representa o número de rotinas adicionais e eficientes para a fabricação de um produto, pode-se facilmente justificar a inversão pois, sabendo-se que as rotinas estão abaixo do nível de eficiência ($RFLX < 0,5 \cdot (R-1)$), uma redução na demanda proporcionará maior flexibilidade de rotinas de produção, enquanto que o aumento da demanda provocará possíveis gargalos na produção. A ocorrência destes gargalos deve-se à baixa eficiência das rotas de fabricação apresentadas pela Instalação 2, além da proximidade do volume produtivo à capacidade instalada da empresa (ver Tabela 20).

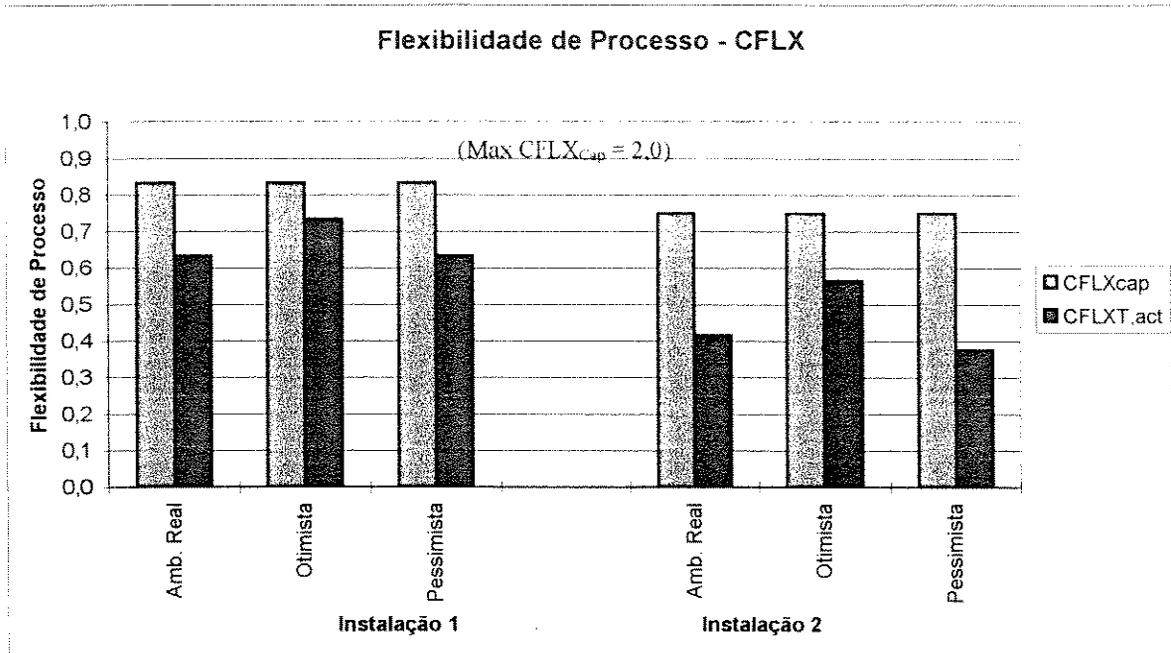


Figura 10: Flexibilidade de Processo para as instalações 1 e 2

Observa-se que a Capacidade de Flexibilidade de Processo permanece estável para ambas as instalações. Isto ocorre porque o indicador está profundamente relacionado às características do produto em estudo. Estas características, denominadas diferenciação dos produtos (ver página 52) não sofreram alterações nos estudos de ambiente, ou seja, considerou-se que as mudanças ocorridas no cenário não provocam alterações nas características dos produtos. Portanto, pode-se verificar que os valores para Capacidade de Flexibilidade do Processo continuam inalterados para uma dada instalação, apesar das mudanças de ambiente. Sendo igual a 0,83 na instalação 1 e 0,75 na instalação 2. Considerando-se que a Capacidade de Flexibilidade de Processo representa o número de diferentes produtos que o sistema é capaz de produzir simultaneamente, conclui-se que ambas instalações possuem pouca capacidade para atender à demanda por variedade de produtos.

Quanto ao indicador de Flexibilidade Real de Processo, este comportou-se de maneira esperada, ou seja, O desempenho variou conforme as alterações de cenários, atingindo um ganho de flexibilidade dentro de um cenário otimista e conseqüente perda de flexibilidade em relação a um cenário pessimista.

Analisando-se os dados obtidos no ambiente real, observa-se que a diferença entre a Flexibilidade Real de Processo e a Capacidade de Flexibilidade de Processo é de 24% na

instalação 1 e 44% para a instalação 2. Estes dados mostram que a instalação 2 tem mais liberdade para usufruir de seus recursos produtivos que a instalação 1, no sentido de ganhar flexibilidade de processo.

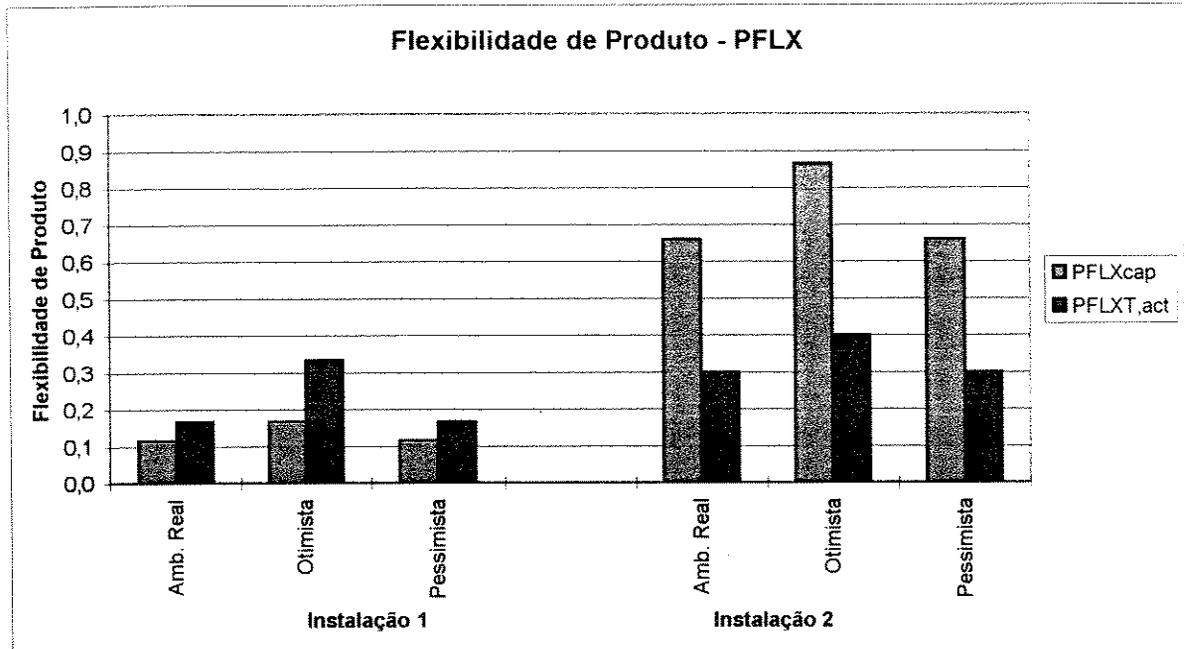


Figura 11: Flexibilidade de Produto para as instalações 1 e 2

O gráfico mostra que os valores da Flexibilidade Real da Instalação 1 são superiores aos encontrados para a Capacidade de Flexibilidade de Produto. Esta situação se inverte na Instalação 2 quando a Flexibilidade Real perde espaço para a Capacidade de Flexibilidade. Esta diferença é facilmente explicada ao verificar-se os valores relativos entre H_{std} e H_{new} nas Tabelas 15 e 20. Pode-se perceber que o custo padrão na Instalação 2 é muito maior que o custo de implementação de produto. Outra verificação que se faz para compreender os resultados do gráfico acima, é a comparação sugerida na página 56 ($\alpha_H * H_{std} \geq H_{new}$ e $\alpha_S * T_{std} \geq S_{new}$). Esta comparação é capaz de identificar se a instalação apresenta flexibilidade para a implementação de novos produtos. Para o ambiente real da instalação 1 (Tabela 15), tanto o produto ($\alpha_H * H_{std} = 1300$) e ($\alpha_S * T_{std} = 0,2$) são menores que $H_{new} = 15000$ e $S_{new} = 1,5$ respectivamente. Portanto, a baixa capacidade para implementação de novos produtos da instalação 1 está relacionada com o baixo custo despendido à produção durante o intervalo de tempo padrão.

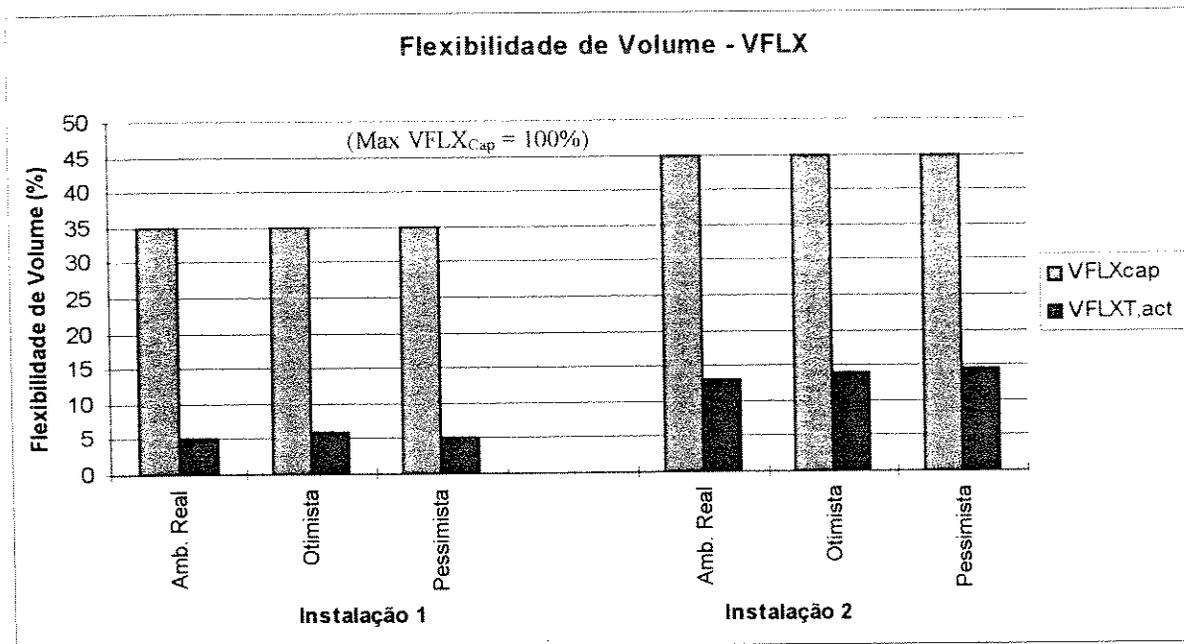


Figura 12: Flexibilidade de Volume para as instalações 1 e 2

O gráfico acima apresenta o indicador de Flexibilidade de Volume. Observa-se que a Instalação 2 possui maior Capacidade de Flexibilidade de volume que a Instalação 1. Isto ocorre porque a instalação 2 possui maior capacidade de adaptar-se às baixas demandas de mercado, como foi mostrado no indicador de Flexibilidade de Rotina (Figura 9) e, principalmente, porque o capital investido nos recurso produtivos é bastante elevado.

Outra informação apresentada na figura acima é a baixa utilização da capacidade flexível de ambas instalações. Na instalação 1, a Flexibilidade Real de Volume equivale a 15% da Capacidade de Flexibilidade, enquanto na instalação 2, esta diferença cai para 31%. Pode-se concluir que ambas instalações têm condições de aumentar seus volumes produtivos, sem requerer, contudo, esforço excessivos de investimentos.

Capítulo 6

Conclusão e Sugestões para Próximos Trabalhos

A situação atual do mercado mundial exige muita agilidade nas decisões. Esta agilidade deve estar alicerçada em informações precisas e relevantes do sistema produtivo da empresa. Ocorre que grande parte das empresas brasileiras de manufatura até o momento não se preocuparam com o fator flexibilidade. Encontram-se em um estágio em que os processos tradicionais de produção satisfazem às exigências de seu mercado consumidor.

O escopo desta pesquisa procura confrontar as diversas problemáticas de um país que, no momento de amadurecimento de seu parque industrial se vê obrigado a reorganizá-lo para atingir patamares produtivos mínimos para conseguir competir dentro de seu próprio território¹⁴. O distanciamento entre o setor produtivo brasileiro e o desenvolvimento científico e tecnológico também está presente neste estudo por considerar que a tecnologia não pode ser um fim em si mesma.

No presente estudo, realizou-se a aplicação do Método dos Níveis Múltiplos de Flexibilidade em duas empresas nacionais. O cenário escolhido para a aplicação do Método foi o setor Metal Mecânico, focalizando principalmente o processo de usinagem. Foram realizados também testes de cenários através de simulações computacionais.

O método estuda minuciosamente os aspectos técnicos da instalação produtiva tais como eficiência de máquina, diferenças de rotinas de fabricação e características do produto. Os indicadores mostraram-se bastante sensíveis às mudanças ocorridas tanto no ambiente interno quanto externo às empresas.

¹⁴ Um exemplo bastante recente foi a venda da Metal Leve para o grupo MAHLE

Através de dois níveis, Capacidade de Flexibilidade e Flexibilidade Real, o método é capaz de orientar no gerenciamento da instalação, indicando as situações em que o desempenho esteja abaixo do planejado.

O método estuda de forma satisfatória as variáveis relacionadas com a implantação de novos produtos e variação de volume de produção.

Quanto a metodologia de aquisição de dados, considera-se de grande importância a aplicação dos questionários de Levantamento de Dados, haja vista sua capacidade de envolver toda a empresa. Apesar da recomendação de se realizar este levantamento de dados em diversos níveis hierárquicos das empresas, fatores como difícil acesso às empresas, pouca disponibilidade de tempo por parte dos empresários / gerentes, curto espaço de tempo para a aplicação do método entre outros, fizeram com que esta atividade se resumisse a uma entrevista com o responsável interessado / designado a colaborar com a pesquisa.

A importância do fator q (eficiência mínima considerada satisfatória) na Capacidade de Flexibilidade de Máquina está em eliminar dos cálculos as operações que apresentam baixos níveis de desempenho, portanto, se uma máquina realizar cinco operações distintas, entretanto apenas uma operação possuir desempenho superior a q , sua flexibilidade será nula.

A Capacidade de Flexibilidade de Máquina varia de 0 a $N-1$. Uma única máquina capaz de desempenhar 5 operações distintas ($N=5$) com eficiência igual a 1 ($e_{i,j} = 1$) atingirá o máximo da Capacidade de Flexibilidade, neste caso, $MFLX_{cap} = 4$.

A aplicação do Método dos Níveis Múltiplos evidenciou alguns pontos relativos às instalações visitadas:

- Constatou-se pouca flexibilidade em ambas instalações que serviram de base para a aplicação do método. No item Flexibilidade de Máquina verifica-se que uma máquina tem capacidade de realizar apenas 0,57 operações eficientemente (ver Figura 8). Para o item Flexibilidade de Rotina, verificou-se que o aumento de produção poderá causar gargalos

de produção na Instalação 2 devido, principalmente aos baixos níveis de eficiência das rotinas existentes.

- Dificuldades para lançamento de novos produtos no mercado. No entanto, a Instalação 1 apresenta maiores dificuldades para lançar novos produtos no mercado que a Instalação 2. Isto ocorre porque a capacidade de investimento da primeira é muito inferior à da segunda.
- Dificuldades com relação ao registro das informações referentes ao processo. Ambas as instalações passam por um processo de minimização de despesas. Neste sentido, funções básicas como registro das informações do chão de fábrica ou melhorias no sistema de custeio encontram-se prejudicadas.
- Busca por alternativas criativas para solucionar problemas produtivos. Verificou-se na Instalação 1 por exemplo, a confecção de um posto de usinagem projetado e construído pelos próprios funcionários da empresa. Este posto é capaz de substituir três operações de usinagem em um determinado item fabricado.

Em função deste estudo, algumas atividades de pesquisa poderão ser realizadas:

1. Despertar o interesse de empresas que fazem uso de Sistemas Flexíveis de Manufatura para fins de comparação e aprimoramento do método.
2. Desenvolver programas computacionais que viabilizem a utilização do método em tempo real.

Referências Bibliográficas

- AGOSTINHO, O. L., *Integração Estrutural dos Sistemas de Manufatura como Pré-Requisito de Competitividade*. Campinas: FEM, UNICAMP, 1995. Tese (Livre Docência) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 1995.
- AMBOS, E., WEISS, K. & RICHTER, U., Processamento Racional de Pequenos e Médios Lotes em Fundição. *Fundição e Serviços*. São Paulo, Aranda Editora Técnica, n.39, p.60-65, 1996.
- AZZONE, G. & RANGONE, A. Measuring Manufacturing Competence: A Fuzzy Approach. *International Journal of Production Research*. vol.34, n.9, p.2517-2532, 1996.
- BARBOSA, W. B., Custo Baseado em Atividades. In: TERRA, L. D. B. (Ed). *Manufatura Integrada por Computador - Contexto, Tendências, Técnicas*. Belo Horizonte: Fundação CEFETMINAS, 1995. p.55-66.
- BATOCCHIO, A. *Um Modelo de Índice de Automação Relacionado à Flexibilidade e a Produtividade dos Sistemas de Manufatura*. Campinas: FEM, UNICAMP, 1991. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas 1991.
- BITITCI, U. S., Modelling of Performance Measurement Systems in Manufacturing Enterprises. *International Journal of Production Economics*. v.42, p.137-147, Elsevier Science, 1995.
- BRADLEY, S. P., HAUSMAN, J. A. & NOLAN, R. L., *Globalization, Technology, and Competition: The Fusion of Computers and Telecommunications in the 1990s*. Boston: Harvard Business School Press, 1993. Cap. 1: Global Competition and Technology. p. 3-32.

- BURBIDGE, J. L. Production Flow Analysis. *The Production Engineer*, v.42, n.12, pp.742-752, 1963
- CANCIGLIERI Jr., O., *Sistema Gerador e Classificador de Features de Fabricação para Peças Rotacionais*. Campinas: FEM, UNICAMP, 1994. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 1994.
- CERTO, S. C. & PETER, J. P., *Administração Estratégica: Planejamento e Implementação da Estratégia*. São Paulo: Makron Books, 1993.
- COSTA, C., Automação: Ontem, Hoje, Amanhã. In: TERRA, L. D. B. (Ed). *Manufatura Integrada por Computador - Contexto, Tendências, Técnicas*. Belo Horizonte: Fundação CEFETMINAS, 1995. p.5-18.
- COZMAN, J. A. N., *Método para Otimização de Sistemas de Produção Operando com Fabricação e Recuperação de Peças*. Campinas: FEM, UNICAMP, 1993. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 1993.
- DAS, S. K. The Measurement of Flexibility in Manufacturing Systems. *International Journal of Flexible Manufacturing Systems*. Michigan, v.8, n.1, p.67-93, 1996.
- FELDMANN, P. R., *Robô, Ruim Com Ele, Pior Sem Ele*. São Paulo: Trajetória Cultural, 1988.
- FERREIRA, C. K. L. - *A Trajetória da Automação Flexível e Seus Impactos na Articulação Externa da Economia Brasileira*. Campinas: IE, UNICAMP, 1987. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Economia, Universidade Estadual de Campinas, 1987.

- FREITAS, P. H. F., *Desenvolvimento de um Sistema de Classificação e Codificação para Suportar a Obtenção do Roteiro Padrão de Fabricação*. Campinas: FEM, UNICAMP, 1994. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 1994.
- GIMENEZ, C., *Desenvolvimento de Interface entre o Projeto Auxiliado por Computador e a Administração de Materiais*. Campinas: FEM, UNICAMP, 1996. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 1996.
- GOMES, M. L., *Geração e Recuperação de Seqüência de Operações para Roteiro de Fabricação*. Campinas: FEM, UNICAMP, 1994. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 1994.
- GOMIDE, F. A. C. & GUDWIN, R. R., Lógica Fuzzy Aplicada à Manufatura. In: TERRA, L. D. B. (Ed). *Manufatura Integrada por Computador - Contexto, Tendências, Técnicas*. Belo Horizonte: Fundação CEFETMINAS, 1995, p.101-143.
- GROOVER, M. P., *Automation, Production Systems, and Computer-Aided Manufacturing*. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1980.
- GUPTA, D. & BUZACOTT, J. A., Models for First-Pass FMS Investment Analysis. *The International Journal of Flexible Manufacturing Systems*, Boston, v.5, p.263-286, 1993.
- GUPTA, D. On Measurement and Valuation of Manufacturing Flexibility. *International Journal of Production Research*, v.31, n.12, p.2947-2958, 1993.
- ISTO É & THE TIMES, Os 1000 que Fizeram o Século 20. São Paulo, Editora Três, pg. 132, 1994.
- LEBAS, M. J. Performance Measurement and Performance Management, *International Journal Production Economics*, v.41, p.23-35, Elsevier Science, 1995.

LONGO, V. P., *Tecnologia e Soberania Nacional*. São Paulo: Nobel, 1984.

LUNA, H. P. L., Sistemas de Apoio à Decisão. In: TERRA, L. D. B. (Ed). *Manufatura Integrada por Computador - Contexto, Tendências, Técnicas*. Belo Horizonte: Fundação CEFETMINAS, 1995 p.83-100.

MANTOUX, P., *A Revolução Industrial no Século XVIII*. São Paulo: UNESP - HUCITEC, 1988.

MONTEIRO, R.& TELLES, G. N, Indicadores do grau de Automação da Manufatura. In: 14º Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica, Bauru, 1997 COB584.

MORI, G., *La Revolución Industrial*. Barcelona: ed. Crítica 1987.

NAKAGAWA, M., *ABC Custeio Baseado em Atividades*, São Paulo, Atlas, 1994, 95p

PARRISH, D.J., *Flexible Manufacturing*. Londres: ed. Butterworth - Heinemann, 1990.

PASTORE, J. O Mito da Destruição dos Empregos. in Conferência Internacional para Integração e Desenvolvimento, São Paulo, 1997.

PETERS, T., *Rompendo as Barreiras da Administração*. São Paulo: Harbra, 1993.

PNQ - *Prêmio Nacional da Qualidade, Critérios de Excelência*. São Paulo, Fundação PNQ, 1995.

PORTER, M. E., *Vantagem Competitiva: Criando e Sustentando um Desempenho Superior*. Rio de Janeiro: ed. Campus, 1992, p. 153-174.

RIFKIN, J., *O Fim dos Empregos: O Declínio Inevitável do Níveis de Emprego e a redução da Força Global de Trabalho*. São Paulo: Makron Books, 1996.

- RON, A. J. Measure of Manufacturing Performance in Advanced Manufacturing Systems, *International Journal Production Economics*, v.41, p.147-160, 1995.
- ROZENFELD, H., Desenvolvimento de uma Linguagem Universal para Programação de Máquinas CNC. In: 9º SBC - Seminário de Comando Numérico e Automatização Industrial & 5º JIAI - Jornada Internacional de Automatização Industrial, São Paulo: 1990.
- SALERNO, M. S., Restruturação Industrial e Novos Padrões de Produção, *Revista São Paulo em Perspectiva*. São Paulo, Fundação SEADE, v.6, n.3 p.100-108, 1992.
- SCHUMPETER, J. A., *Teoria do Desenvolvimento Econômico: Uma Investigação Sobre Lucros, Capital, Crédito, Juros e o Ciclo Econômico*. São Paulo: Abril Cultural, 1982.
- SIMONSEN, M. H., O Melhor Remédio Contra o Desemprego é o Crescimento. *Revista Exame*. São Paulo, ed.603, p. 11, fev. 1996.
- SUAREZ, F. F., CUSUMANO, M. A. & FINE, C. H., An Empirical Study of Manufacturing Flexible in Printed Circuit Board Assembly. *Operations Research*, v. 44, n.1, 1996.
- TACLA, C. & TAZZA, M., Ferramenta de Projeto e Análise de Sistemas Flexíveis de Manufatura. In: TERRA, L. D. B. (Ed). *Manufatura Integrada por Computador - Contexto, Tendências, Técnicas*. Belo Horizonte: Fundação CEFETMINAS, 1995, p.227-246.
- TAYLOR, F. W., *Princípios de Administração Científica*. São Paulo. Atlas, 1966, 157p.
- TELLES, G. N., *S.P.A.T. - Sistema de Programação Automática de Tornos*. Campinas: FEM, UNICAMP, 1990. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 1990.
- TURNEY, P. B. B., *Common Cents - The ABC Performance Breakthrough*. Hiisboro, OR: Cost Technology, 1991.

VENDRAMETO, O., *Bases de Conhecimento para a Automação da Manufatura*, São Paulo: EPUSP, USP, 1994. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 1994, 157p.

ZACCARELLI, S. B., *Programação e Controle da Produção*. São Paulo: Pioneira, 1997.

WEIL, K. E., Prédios Industriais e Arranjo Físico In: MACHLINE, C. et al. *Manual de Administração da Produção*. Vol. 1 - 4ª edição, Fundação Getúlio Vargas, São Paulo, 1978.

WOLFE, P. M., Computer Aided Process Planning is Link between CAD and CAM, *Industrial Engineering*, Dalton-MA, v.17, n.8, p.72-77, Aug / 1985.

Bibliografia Consultada

- ANGELVA, J. & PILTONER, P. Distributed Real-Time Data Management in a Flexible Manufacturing System. (FMS). In: SODHI, R. S. (Ed.). *Advances in Manufacturing Systems: Design, Modeling and Analysis*, v.22. Newark, N. J: Elsevier Science, 1994. p.88-86.
- BARKER, R. C., Time-Based Performance Measurement: A Model to Aid Competitive Restructuring. *Management Decision Illustrative Issue*. p.13-18, 1994.
- BEZERRA, J. C., *Simplesmente Just-in-Time*. São Paulo: IMAM, 1990.
- BLANCHARD, K & JOHNSON, S., *O Gerente Minuto*. Rio de Janeiro: Record, 1981.
- BOLTON, W. *Mechatronics: Eletronic Control Systems in Mechanical Engineering*. London: Addinson Wesley Longman, 1995.
- CALARGE, F. A. & AGOSTINHO, O. L., Um Método de Estruturas de Manufatura Enfocando a Capacidade de Agregação de Valor ao Produto. In: *IV Congresso de Engenharia Mecânica Norte-Nordeste - UFP*, Recife: 1996. p.559-564.
- CARBONE PEÑA, S. M., *Utilização da análise de processos do negócio e do custeio baseado em atividades como ferramentas para a aplicação da reengenharia de processos do negócio*. Campinas: FEM, UNICAMP, 1995. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas 1995.
- DAS, S., SARI-STROMAN, K. & KARWANDE, N., Analyzing the Need for Manufacturing Flexibility. In: *Pacific Conference on Manufacturing*. Seoul: 1996. p.29-31.

- GEITNER, W. U. & LE, W., An Open Software System for Designing and Generating Enterprise Information Systems. In: SODHI, R. S. (Ed.). *Advances in Manufacturing Systems: Design, Modeling and Analysis* v.22. Newark, N. J:1994. p.317-322.
- GOLDRAT, E. M. & COX, J., *A Meta: Um Processo de Aprimoramento Contínuo*. São Paulo: Educator, 1992.
- GUPTA, D. & BUZACOTT, J. A., A “Goodness Test” for Operational Measures of Manufacturing Flexibility. In: *The International Journal of Flexible Manufacturing Systems*. Boston, v.8, p.233-245, 1993.
- IACOCCA, L. A. & NOVAK, W., *IACOCCA : Uma Autobiografia*. São Paulo: Cultura 1985.
- MIGLIACCIO Fº, R., Reflexões Sobre o Homem e o Trabalho. *Revista de Administração de Empresas*. São Paulo, v.34, n.2, p.18-32, mar-abr/1994.
- MONTEIRO, R. & TELLES, G. N., Automação Industrial - Aspectos Administrativos e Tecnológicos. *III Congresso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica - CIDIM / 97*. Havana: 1997.
- RANSCHBURG, A., *Quem Não Faz Poeira, Come Poeira*. São Paulo: Best Seller, 1991.
- SEMLER, R., *Virando a Própria Mesa*. São Paulo: Best Seller, 1988.
- STEULA, S. L., *Autonomia Operária, Qualidade e Produtividade nas Pequenas e Médias Empresas*. Campinas: FEM, UNICAMP, 1997. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas 1997.
- VENJARA, Y. Como Criar, Passo a Passo, Uma Célula ou Sistema de Usinagem. *Máquinas e Metais*. São Paulo, n.374 p 20-34, mar/1997.

Apêndice 1

Apresenta-se nesta seção, o material encaminhado às empresas alvo de nossa pesquisa.

Levantamento de Dados da Flexibilidade

1º Passo do Plano de Processo de Manufatura Flexível

- Objetivo deste Levantamento de Dados é fazer uma primeira avaliação da necessidade e relevância da flexibilidade nas operações de manufatura da companhia.
- O questionário está dividido em duas seções.
Seção A: Focaliza as mudanças relacionadas com a flexibilidade;
Seção B: Focaliza a aplicabilidade dos tipos específicos de flexibilidade.
- Esperamos que várias pessoas da companhia estejam simultaneamente preenchendo este questionário. As respostas serão compiladas em um relatório. Este relatório será usado para guiar as atividades nos próximos passos do plano de processo.

Solicitamos que todas as questões desta página sejam respondidas e então, prosseguir com as duas seções sequencialmente

Nome: _____ Data: _____

Organização: _____ Cargo: _____

Departamento: _____

Individual: ____ Grupo: ____ (Verificar área apropriada)

Número de pessoas na organização: _____

Situação do processo utilizado: _____

Número de produtos produzidos: _____

Lista de Produtos:

_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____

SEÇÃO A

Introdução

Flexibilidade é definida como a habilidade de um sistema para ajustar-se às mudanças em seu ambiente interno ou externo. A premissa fundamental da manufatura flexível é que a instalação experimentalá mudanças ambientais. Adaptando uma instalação convencional para estas mudanças pode-se esperar uma perda de desempenho. O objetivo da manufatura flexível portanto, é mudar ou reagir com pouco esforço ou mínima queda de desempenho no tempo, até que se consiga alcançar perda zero.

Mudanças podem ser classificadas como Externas ou Internas.

Mudanças Externas são uma consequência de um estímulo de mercado. São geralmente *ou como o cliente quer ou como o fornecedor obriga*.

Ex.: A demanda de mercado força a empresa a produzir maior variedade de produtos;

Isto é um fator externo. Portanto, as mudanças externas podem ser classificadas em 3 tipos:

- 1) *Volume de Demanda*: A demanda para a flutuação de produtos;
- 2) *Variedade de Demanda*: Demanda por muita variedade;
- 3) *Condições de Fornecimento*: Restrições são feitas por limitações dos fornecedores.

Mudanças Internas originam-se dentro das instalações. São classificadas em três tipos, de acordo com as consequências pelas quais são geradas:

- 1) *Uma Mudança Externa*: Por exemplo, as mudanças nos hábitos de consumo, exigindo maior variedade de produtos, direcionando a empresa para uma maior diversificação de seus produtos.
- 2) *Uma Política Interna*: Por exemplo, mudanças na política de inventário, política no consumo de materiais, política de inspeção, etc.
- 3) *Um Fracasso Interno*: Por exemplo, a falta de um trabalhador, falha de máquinas, etc. Nestes casos, outros trabalhadores são requisitados para desempenhar operações adicionais visando cobrir as freqüentes faltas.

4) Questão 1

1A) Indique as cinco mudanças externas mais importantes que ocorreram em sua empresa e determine a classificação de cada mudança, marcando (X) no parênteses apropriado, conforme definições abaixo:

- (1) Volume de Demanda
- (2) Variedade de Demanda
- (3) Condições de Fornecimento
- (4) Outros.

EC1

<input type="checkbox"/> (1)	<input type="checkbox"/> (2)	<input type="checkbox"/> (3)	<input type="checkbox"/> (4)
------------------------------	------------------------------	------------------------------	------------------------------

EC2

<input type="checkbox"/> (1)	<input type="checkbox"/> (2)	<input type="checkbox"/> (3)	<input type="checkbox"/> (4)
------------------------------	------------------------------	------------------------------	------------------------------

EC3

<input type="checkbox"/> (1)	<input type="checkbox"/> (2)	<input type="checkbox"/> (3)	<input type="checkbox"/> (4)
------------------------------	------------------------------	------------------------------	------------------------------

EC4

<input type="checkbox"/> (1)	<input type="checkbox"/> (2)	<input type="checkbox"/> (3)	<input type="checkbox"/> (4)
------------------------------	------------------------------	------------------------------	------------------------------

EC5

<input type="checkbox"/> (1)	<input type="checkbox"/> (2)	<input type="checkbox"/> (3)	<input type="checkbox"/> (4)
------------------------------	------------------------------	------------------------------	------------------------------

1B) Indique as cinco Mudanças Internas mais importantes que ocorreram em sua empresa e determine a classificação de cada mudança marcando (X) nos parênteses, conforme as definições abaixo.

- 1) Geração de Mudanças Internas como consequência de mudanças externas
- 2) Geração de Mudanças Internas como uma consequência de políticas internas
- 3) Geração de Mudanças Internas como consequência de falhas internas
- 4) Outros

IC1

<input type="checkbox"/> (1)	<input type="checkbox"/> (2)	<input type="checkbox"/> (3)	<input type="checkbox"/> (4)
------------------------------	------------------------------	------------------------------	------------------------------

IC2

<input type="checkbox"/> (1)	<input type="checkbox"/> (2)	<input type="checkbox"/> (3)	<input type="checkbox"/> (4)
------------------------------	------------------------------	------------------------------	------------------------------

IC3

<input type="checkbox"/> (1)	<input type="checkbox"/> (2)	<input type="checkbox"/> (3)	<input type="checkbox"/> (4)
------------------------------	------------------------------	------------------------------	------------------------------

IC4

<input type="checkbox"/> (1)	<input type="checkbox"/> (2)	<input type="checkbox"/> (3)	<input type="checkbox"/> (4)
------------------------------	------------------------------	------------------------------	------------------------------

IC5

<input type="checkbox"/> (1)	<input type="checkbox"/> (2)	<input type="checkbox"/> (3)	<input type="checkbox"/> (4)
------------------------------	------------------------------	------------------------------	------------------------------

Questão 2

Descreva as possíveis causas das mudanças que você listou acima

EC 1 _____

EC 2 _____

EC 3 _____

EC 4 _____

EC 5 _____

IC 1 _____

IC 2 _____

IC 3 _____

IC 4 _____

IC 5 _____

Questão 3

3A.) Descreva as ações tomadas no intuito de neutralizar as mudanças listadas nas Questões 1 e 2:

EC 1 _____

EC 2 _____

EC 3 _____

EC 4 _____

EC 5 _____

IC 1 _____

IC 2 _____

IC 3 _____

IC 4 _____

IC 5 _____

Questão 4

Quanto você considera o impacto dos fatores listados abaixo sobre o desempenho devido as mudanças?

Assuma que o desempenho antes da mudança era 100%.

Por exemplo: Após ocorrer as mudanças, o desempenho do trabalho foi reduzida de 5%, portanto, o desempenho do trabalho após a mudança será taxada em 95%.

Favor complete a Tabela abaixo

Fatores	EC1	EC2	EC3	EC4	EC5
TRABALHO					
MÁQUINA					
MATERIAL					
ESPACO					
INVENTÁRIO					
Tempo Morto					
TREINAMEN					

Quantas vezes as mudanças ocorrem por mês?

Ex.: Será "1" se ocorrer todo mês

Será "0,5" se ocorrer a cada 2 meses.

Frequência					
------------	--	--	--	--	--

Fatores	IC1	IC2	IC3	IC4	IC5
TRABALHO					
MÁQUINA					
MATERIAL					
ESPACO					
INVENTÁRIO					
Tempo Morto					
TREINAMEN					

Quantas vezes as mudanças ocorrem por mês?

Ex.: Será "1" se ocorrer todo mês

Será "0,5" se ocorrer a cada 2 meses.

Frequência					
------------	--	--	--	--	--

SEÇÃO B

Definição dos diferentes tipos de Flexibilidade:

- a) **Flexibilidade de Máquina** - Refere-se aos vários tipos de operações que as máquinas podem desempenhar sem precisar de esforços massivos quando interrompida de uma operação para outra.
- b) **Flexibilidade de Rotina** - Refere-se a habilidade do sistema de manufatura para fabricar um produto por rotas alternativas através do sistema.
- c) **Flexibilidade do Processo** - Refere-se ao sistema de manufatura o qual refere-se a diferentes tipos de preparação de produtos que o sistema pode produzir sem maior *setup*.
- d) **Flexibilidade do Produto** - Refere-se a facilidade com a qual um novo produto pode ser adicionado ou substituído por produtos existentes.
- e) **Flexibilidade de Volume** - Refere-se a habilidade do sistema de manufatura de operar economicamente em diferentes níveis.

Flexibilidade de Máquina

Questão 5

- a) Você considera que “Flexibilidade de Máquina” é importante para neutralizar as mudanças que você listou na Parte 1?

Sim

Não

- b) Quais das seguintes mudanças poderiam ser neutralizada através da “Flexibilidade de Máquina” ?

EC 1 EC 2 EC 3 EC 4 EC 5

IC 1 IC 2 IC 3 IC 4 IC 5

- c) Quantas máquinas gargalo você tem?

- d) Para cada máquina gargalo, preencha na Tabela:

Máquina	N.º de Operações planejada para cada máquina	N.º de operações desempenhadas atualmente por máquina,

Flexibilidade de Rotina

Questão 6

a) Você considera que a “Flexibilidade de Rotina” é importante para neutralizar as mudanças listadas na parte 1 ?

Sim

Não

b) Quais das seguintes mudanças poderiam ser neutralizadas através “Flexibilidade de Rotina”?

EC1

EC2

EC3

EC4

EC5

IC1

IC2

IC3

IC4

IC5

c) Quantas operações gargalos você tem? _____

d) Qual é o número médio de caminhos pelos quais um produto pode ser processado?

Flexibilidade do Processo

Questão 7

a) Você considera que a “Flexibilidade do Processo” é importante para neutralizar as mudanças listadas na parte 1 ?

Sim

Não

b) Quais das seguintes mudanças poderiam ser neutralizadas através da “Flexibilidade de Processo”?

EC1 EC2 EC3 EC4 EC5

IC1 IC2 IC3 IC4 IC5

c) Qual o número de produtos que o sistema foi designado a produzir? _____

d) Qual o número de produtos que o sistema normalmente produz? _____

Flexibilidade de Produto

Questão 8

a) Você considera que a “Flexibilidade do Produto” é importante para neutralizar as mudanças listadas na parte 1 ?

Sim

Não

b) Quais das seguintes mudanças poderiam ser neutralizadas através da “Flexibilidade do Produto” ?

EC1

EC2

EC3

EC4

EC5

IC1

IC2

IC3

IC4

IC5

c) Qual o tempo do ciclo de um novo produto? (do projeto à fabricação) _____

d) A que intervalo um novo produto é desenvolvido? _____

Dados para Flexibilidade da Máquina, Rotina e Processo

Número de peças ou modelos (L) =

Número de Rotas/Produto (R) =

Número de Operações (N) =

Eficiência mínima aceitável (q) =

Eficiência das Máquinas (e_{ij}) = $0 \leq e_{ij} \leq 1$

Operações	Máquina			
	j = 1	j = 2	j = 3	j = 4
i = 1				
i = 2				
i = 3				

Rotina de Fabricação dos produtos (P_{kij}) =

		produtos																	
		k = 1			k = 2			k = 3			k = 4			k = 5			k = 6		
rotas	j = 1	j = 2	j = 3	j = 1	j = 2	j = 3	j = 1	j = 2	j = 3	j = 1	j = 2	j = 3	j = 1	j = 2	j = 3	j = 1	j = 2	j = 3	
r = 1																			
oper	()	()	()	()	()	()	()	()	()	()	()	()	()	()	()	()	()	()	()
r = 2																			
oper	()	()	()	()	()	()	()	()	()	()	()	()	()	()	()	()	()	()	()
r = 3																			
oper	()	()	()	()	()	()	()	()	()	()	()	()	()	()	()	()	()	()	()

Nos quadros referentes as rotas, preencher os tempos necessários para a fabricação do produto em determinada máquina nas respectivas rotinas.

Nos parênteses, preencher qual / quais as operações (i) que estão sendo realizadas.

Consideramos para efeito de tabela, a fabricação de 6 itens diferentes em três rotinas distintas.

Diferenciação de Produtos

	Máquina j = 1			Máquina j = 2			Máquina j = 3		
	Δ Oper	Δ Habil	Δ Prod	Δ Oper	Δ Habil	Δ Prod	Δ Oper	Δ Habil	Δ Prod
k1,k2									
k1,k3									
k1,k4									
k1,k5									
k1,k6									
k2,k3									
k2,k4									
k2,k5									
k2,k6									
k3,k4									
k3,k5									
k3,k6									
k4,k5									
k4,k6									
k5,k6									

W1 =	W2 =	W3 =	W4 =
------	------	------	------

Na Tabela acima, os índices W1, W2, W3 e W4 estão relacionados respectivamente com Operação, Facilidade, Produção e Máquina, e representam as importâncias atribuídas a cada item, de modo que $W1+W2+W3+W4 = 1,0$.

Rotinas do produto ($Z_{k,r,t}$) =

Produto Rotina	t = 1	t = 2	t = 3	t = 4	t = 5	t = 6	t = 7	t = 8	t = 9	t=10
k = 1, r = 1										
k = 1, r = 2										
k = 1, r = 3										
k = 2, r = 1										
k = 2, r = 2										
k = 2, r = 3										
k = 3, r = 1										
k = 3, r = 2										
k = 3, r = 3										
k = 4, r = 1										
k = 4, r = 2										
k = 4, r = 3										
k = 5, r = 1										
k = 5, r = 2										
k = 5, r = 3										
k = 6, r = 1										
k = 6, r = 2										
k = 6, r = 3										

Para fins de elaboração da Tabela, consideramos 6 peças distintas fabricadas em três rotinas diferentes.

