

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ

João Vitor Zanesco

**O EQUACIONAMENTO DA FLEXIBILIDADE DE MANUFATURA
NUM AMBIENTE CELULAR**

Orientador – Professor José Arnaldo Barra Montevechi

Itajubá – MG – dezembro de 2002

SUMÁRIO

Agradecimentos	I
Lista de figuras	II
Lista de tabelas	III
Lista de siglas	IV
Lista de anexos	V
Lista de gráficos	VI
Lista de fotos	VII
Abstract	VIII
Resumo	IX
Capítulo 1 – Introdução	
1.1 - Considerações Iniciais	01
1.2 - O Estágio atual da Manufatura no Brasil	01
1.3 - Objetivos	03
1.4 - A flexibilidade no contexto da manufatura	03
1.5 - limitações do trabalho	08
1.6 - Estrutura do Trabalho	09
Capítulo 2 – Revisão bibliográfica	
2.1 - Introdução	10
2.2 - Definição de flexibilidade	11
2.3 - Definição de flexibilidade à ser utilizada, a base conceitual para seu dimensionamento e a justificativa para o mesmo	32

2.4 – A avaliação da flexibilidade sob um conceito unificado	33
2.5 - Conclusão	46

Capítulo 3 – Organização do Estudo de Caso

3.1 – Introdução.....	49
3.2 – Caracterização do ambiente escolhido para o estudo de caso.....	49
3.3 – O equacionamento e análise das dimensões da flexibilidade do sistema.....	54
3.3.1 – Flexibilidade de Expansão.....	56
3.3.1.1 – Avaliação dos parâmetros RN e RH.....	57
3.3.1.2 – Análise da Mobilidade M.....	57
3.3.1.3 – Análise da Uniformidade U.....	59
3.3.2 – Flexibilidade de Máquina.....	61
3.3.2.1 – Análise dos parâmetros RN e RH.....	63
3.3.2.2 – Análise da mobilidade M.....	63
3.3.2.3 – Análise da Uniformidade U.....	64
3.3.3 – Flexibilidade da MOD.....	66
3.3.3.1 – Análise dos parâmetros RN e RH.....	67
3.3.3.2 – Análise da mobilidade M.....	67
3.3.3.3 – Análise da Uniformidade U.....	68
3.3.4 – Flexibilidade de roteamento.....	69
3.3.4.1 – Análise dos parâmetros RN e RH.....	71
3.3.4.2 – Análise da mobilidade M.....	71
3.3.4.3 – Análise da Uniformidade U.....	71
3.4 – Considerações finais sobre a organização do estudo de caso.....	72

Capítulo 4 – Estudo de Caso

4.1 - Considerações iniciais	74
4.2 – Avaliação das dimensões.....	74
4.2.1 – Flexibilidade de expansão.....	74
4.2.1.1 – Análise dos parâmetros RN e RH.....	74
4.2.1.2 – Análise da mobilidade M.....	76
4.2.1.3 – Análise da Uniformidade U.....	78
4.3.1.4 - Conclusão sobre a flexibilidade de Expansão	79
4.3.2 - Flexibilidade de Máquina	80

4.3.2.1 - Análise dos parâmetros RN e RH	80
4.3.2.2 - Análise da Uniformidade (U)	81
4.3.2.3 – Análise da mobilidade M.....	84
4.3.2.4 - Conclusão sobre a flexibilidade de máquina	84
4.3.3 - Flexibilidade de mão de obra direta (MOD)	85
4.3.3.1 – Análise dos parâmetros RN e RH	85
4.3.3.2 - Análise da mobilidade (M)	87
4.3.3.3 - Análise da uniformidade (U)	87
4.3.3.4 - Conclusão sobre a flexibilidade da MOD	88
4.3.4 - Flexibilidade de roteamento	89
4.3.4.1 - Análise dos parâmetros RN e RH	89
4.3.4.2 - Análise da mobilidade (M)	91
4.3.4.3 - Análise da uniformidade (U)	92
4.3.4.4 - Conclusão sobre a flexibilidade de roteamento	92
4.4 – Conclusão do estudo de caso.....	92

Capítulo 5 – Conclusão

5.1 - Conclusão do trabalho sob o ponto de vista do estudo de caso.....	94
5.2 - Conclusão do trabalho sob o ponto de vista dos objetivos definidos	99
5.3 - Sugestões para futuras pesquisas sobre o tema	99

Bibliografia

Bibliografia Auxiliar

Agradecimentos

Agradeço em primeiro lugar a minha esposa e meus filhos, porque além da compreensão pelo tempo que deixei de dedicar a eles, também me motivaram em cada momento.

Agradeço ao meu amigo, e meu orientador, prof. Dr. José Arnaldo Barra Montevechi pela maneira habilidosa com que me conduziu no desenvolvimento deste trabalho, que permitiu sua conclusão.

Agradeço à Mahle Cofap Anéis, representada pelo seu diretor José Magri Milton Laugênio, pelo apoio, e por ter acreditado na importância desta questão para o seu negócio.

Também agradeço aos meus colegas de trabalho, que em alguns momentos dedicaram uma parte do seu tempo me auxiliando no tratamento das questões apresentadas neste trabalho.

Agradeço a UNIFEI, representada pelo seu Reitor prof. José Carlos Goulart de Siqueira, pela maravilhosa estrutura que tive em meu auxílio durante o desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço aos meus colegas da UNIFEI, não somente pela ajuda que me prestaram, mas também por terem sido em muitos momentos um benchmark no estabelecimento dos meus objetivos.

Agradeço aos meus pais, que como fator fundamental, colocaram a persistência na formação do meu caráter.

Por ser a base de tudo, agradeço à Deus, que permitiu que todos estes fatores se coincidissem em favor do meu sucesso.

Lista de Figuras

- Figura 1.1** - Áreas de aplicação das tecnologias de manufatura
- Figura 1.2** - Os sistemas de manufatura sugeridos para diferentes ambientes
- Figura 2.1** - Relacionamento hierárquico entre os diferentes tipos de flexibilidade
- Figura 2.2** - Estrutura hierárquica dos tipos de flexibilidade
- Figura 2.3** - Classificação Vertical da flexibilidade
- Figura 2.4** - Fronteira de performance
- Figura 2.5** - Conceituação esquemática da flexibilidade
- Figura 2.6** - Estrutura esquemática para análise da flexibilidade
- Figura 2.7** - Estrutura esquemática das variáveis para análise da flexibilidade
- Figura 2.8** - Relação entre custo e volume
- Figura 2.9** - Hierarquia entre as dimensões da flexibilidade
- Figura 3.1** - Layout das plantas um e dois
- Figura 3.2** - Layout das planta seis
- Figura 3.3** - Layout das planta sete
- Figura 3.4** - Layout das plantas três, quatro e cinco
- Figura 3.5** - Estrutura esquemática para análise da flexibilidade de expansão
- Figura 3.6** - Comportamento da eficiência da MOD durante o processo de expansão
- Figura 3.7** - Estrutura esquemática para análise da flexibilidade de máquina
- Figura 3.8** - Estrutura esquemática para análise da flexibilidade de mão de obra direta
- Figura 3.9** - Estrutura esquemática para análise da flexibilidade de roteamento
- Figura 3.10** – Estrutura para avaliação da flexibilidade no ambiente celular
- Figura 4.1** - Comportamento da eficiência das máquinas gargalo nas sete tecnologias
- Figura 4.2** - Impacto do tamanho médio do lote na tecnologia seis

Lista de tabelas

- Tabela 1.1** – Fatores de desempenho prioritários segundo alguns autores
- Tabela 1.2** – Motivos para a implementação da manufatura celular
- Tabela 2.1** – Classificação dos aspectos da flexibilidade de manufatura
- Tabela 2.2** – Origem e aplicação das definições de flexibilidade
- Tabela 2.3** – Mapa da integração da flexibilidade na manufatura
- Tabela 2.4** – Flexibilidade de manufatura sob o ponto de vista do sistema
- Tabela 2.5** – Flexibilidade na manufatura associada ao ambiente
- Tabela 2.6** – Flexibilidade na manufatura sob o ponto de vista da decisão
- Tabela 2.7** – Relação entre os diferentes tipos de flexibilidade
- Tabela 2.8** – Tipos de flexibilidade e sua definição comum simplificada
- Tabela 2.9** – A distribuição dos autores identificados que contribuíram nos conceitos de UPTON (1994)
- Tabela 4.1** – RN para flexibilidade de expansão
- Tabela 4.2** – Tempo requerido para treinamento
- Tabela 4.3** – Tempo requerido para expansão do sistema
- Tabela 4.4** – Variáveis para cálculo da mobilidade da flexibilidade de expansão
- Tabela 4.5** – Variáveis para cálculo da Uniformidade para a flexibilidade de expansão
- Tabela 4.6** – Resultado comparativo da flexibilidade de expansão
- Tabela 4.7** – Resultados de RN e RH
- Tabela 4.8** – Novo lote médio potencial
- Tabela 4.9** – Resultado comparativo da flexibilidade de máquina
- Tabela 4.10** – Tempo necessário para adequação da eficiência
- Tabela 4.11** – Resultado de RN e RH
- Tabela 4.12** – Resultado comparativo da flexibilidade da MOD
- Tabela 4.13** – RN e RH para produtos de fase única
- Tabela 4.14** – Número de células similares por planta e fase
- Tabela 4.15** – Parâmetros RN e RH das plantas três, quatro e cinco
- Tabela 4.16** – Resultado percentual das dimensões aplicadas
- Tabela 5.1** – Proposta de agrupamento entre plantas
- Tabela 5.2** – Características desejáveis para melhoria da flexibilidade

Lista de siglas

CAD	– Sistemas de projeto auxiliados por computador
CAM	– Sistemas de manufatura assistidos por computador
DLF	– Flexibilidade da MOD
ERP	– Sistemas de planejamento das necessidades empresarias
EF	– Flexibilidade de Expansão
FMS	– Sistemas flexíveis de manufatura
JIT	– Sistema de manufatura “Just in Time”
MRP	– Sistemas de planejamento das necessidades de materiais
MOD	– Mão de obra direta
M	– Mobilidade
MF	– Flexibilidade de maquina
R	– Amplitude
RF	– Flexibilidade de roteamento
RH	– Parâmetro de avaliação da heterogeneidade
RN	– Parâmetro de avaliação da amplitude
RCM	– Manutenção centrada em confiabilidade
STC	– Sensibilidade à mudança
SAP.R3	– Software de gestão empresarial
TPM	– Manutenção produtiva total
TG	– Tecnologia de grupo
RN	– Amplitude do numero de opções
RH	– Amplitude da diferença entre as opções
U	– Uniformidade
VF	– Flexibilidade de volume

Lista de Anexos

- Anexo 1** – Planta geral da unidade industrial
- Anexo 2** – Layout da área de usinagem à ser estudada
- Anexo 3** – Evolução do tamanho dos lotes no período 2001/02
- Anexo 4** – proposta para criação de uma planta flexível para pequenos lotes.
- Anexo 5** – lay-out da planta três
- Anexo 6** – lay-out da planta cinco
- Anexo 7** – lay-out da planta quatro
- Anexos 8 e 9** – Exemplo de dados utilizados para estimativa de crescimento de demanda
- Anexo 10** – Célula típica da planta um
- Anexo 11** – Células típicas da planta dois
- Anexo 12** – Células típicas da planta três
- Anexo 13** – Células típicas da planta quatro
- Anexo 14** – Células típicas da planta cinco
- Anexo 15** – Célula típica da planta sete
- Anexos 16 e 17** – Exemplos de dados de tempo STD para calculo de eficiência teórica

Lista de Gráficos

Gráfico 4.1 – Resultado comparativo da amplitude para a flexibilidade de expansão

Gráfico 4.2 – Resultado comparativo da mobilidade e uniformidade para a flexibilidade de expansão

Gráfico 4.3 – Comparação da amplitude para a flexibilidade de máquina

Gráfico 4.4 – Resultado comparativo da mobilidade e uniformidade para a flexibilidade de máquina

Gráfico 4.5 – Resultado comparativo da amplitude para a flexibilidade da MOD

Gráfico 4.6 – Resultado comparativo da uniformidade para a flexibilidade da MOD

Gráfico 4.7 – Resultado comparativo da amplitude para a flexibilidade de roteamento

Lista de Fotos

Foto 3.1 – Fachada principal da Mahle Cofap Anéis

Abstract

It has been widely recognised that manufacturing flexibility is a critical component to achieving a competitive advantage in the marketplace. The ability of manufacturing companies to adapt to their changing environment is frequently a key to long-term success, and under this circumstances we need to include flexibility in the decision making process even when the system is not focused in flexible manufacturing systems (FMS), because this kind of system is not economically justified in most part of companies in our country. So it is clear we need to develop ways to manage flexibility in others manufacturing environment to get its better result in customer service and profitability.

Manufacturing flexibility is not as well understood as are cost or quality. Most firms have a reasonable accurate understanding of the cost of producing their products, and the quality of a product is specifically defined when the firm identifies the characteristics that define product quality in the mind of the customer. Firms measure those characteristics and compare with predetermined standards to assess the degree of conformance between the quality characteristics and design specifications.

Flexibility on the other hand, is not determined so easily. Researchers in the area of manufacturing flexibility agree on a workable definition of manufacturing flexibility, but we notice significant variation in perspectives when we try to break down manufacturing flexibility in to its elements and measures.

The objective of this study is to present a definition of flexibility available in the literature and its measurement. We also present one practical application as an example of manufacturing flexibility analyse in a cellular environment, showing that it is possible to manage flexibility in any manufacturing environment.

Key words – *manufacturing flexibility, flexibility measurement, flexibility, definition of flexibility, FMS, Flexible manufacturing systems.*

Resumo

O valor da flexibilidade como um componente crítico para obtenção de vantagem competitiva no mercado, é vastamente reconhecido. A habilidade das empresas de manufatura para se adaptar às mudanças de ambiente é freqüentemente a chave do sucesso ao longo prazo, e sob estas circunstâncias é fundamental incluir a flexibilidade no processo decisório, mesmo quando o sistema de manufatura não é focado no ambiente dos sistemas flexíveis de manufatura (FMS), pois este tipo de sistema não se justifica economicamente na maior parte das empresas de manufatura em nosso país. Fica clara a necessidade de se desenvolver métodos para a gestão da flexibilidade em outros ambientes de manufatura, além do FMS, objetivando a melhoria do resultado em serviço ao cliente e a lucratividade.

A flexibilidade de manufatura não é tão bem compreendida como são custo e qualidade. Muitas empresas possuem uma boa compreensão dos parâmetros do custo na produção de seus produtos e da qualidade específica do produto, quando a empresa identifica as características que definem a qualidade do produto sob o ponto de vista do consumidor. As empresas medem estas características e comparam com os padrões pré-determinados para avaliar o grau de conformidade entre as características de qualidade e as especificações de projeto.

A flexibilidade por outro lado, não é determinada de maneira tão simples. Pesquisadores na área de flexibilidade de manufatura concordam com o domínio aplicável da definição da flexibilidade de manufatura, mas é possível notar uma significativa variação de perspectivas quando tentamos classificar a flexibilidade de manufatura em suas dimensões e medições.

O objetivo deste trabalho é apresentar a definição de flexibilidade encontrada na bibliografia disponível e sua medição, considerando outros sistemas de manufatura além do FMS. Também é apresentada uma aplicação prática como um exemplo de análise da flexibilidade de manufatura fora de um ambiente FMS, mostrando que é possível gerenciar a flexibilidade de manufatura em qualquer ambiente.

Palavras chave – *Flexibilidade de manufatura, medição de flexibilidade, flexibilidade, definição de flexibilidade, FMS, Sistemas flexíveis de manufatura.*

Capítulo 1

Introdução

1.1 – Considerações Iniciais

Neste capítulo serão apresentadas as considerações gerais referentes ao tema a ser abordado nesta dissertação; o objetivo deste trabalho, definindo o seu alcance e suas limitações; os fatores que motivaram esta pesquisa e que caracterizam a sua relevância científica. Por último, a estrutura e organização deste trabalho.

1.2 – O estágio atual da manufatura no Brasil

No início da década de 90 observa-se no país uma aceleração do processo de globalização de sua estrutura comercial, com o fim das barreiras protecionistas do mercado interno. Naquela época, o mercado internacional se caracterizava por possuir um elevado nível tecnológico e, como consequência, indústrias extremamente competitivas sob os aspectos de preço e qualidade.

Em busca de resultados que pudessem melhorar a competitividade da indústria nacional, tiveram início uma série de ações na área de manufatura. Deixando-se de lado as ações isoladas, características de cada negócio, é possível selecionar algumas medidas mais abrangentes que foram adotadas por muitas empresas de diferentes ramos de atividade. Entre estas medidas pode-se destacar os novos métodos para manutenção, tais como: a manutenção produtiva total, conhecido pela sigla “TPM” (total productive maintenance); a manutenção centrada em confiabilidade “RCM”

(reliability centered maintenance); a utilização de ferramentas de gestão como o planejamento das necessidades de materiais “MRP” (material requirement planning); os sistemas de gestão de grande porte “ERP” (enterprise requirement planning); utilização de sistemas de projeto de produtos e processos auxiliados por computador “CAD” (computer aided design) e “CAM” (computer aided manufacturing); mas, uma das técnicas que mais se difundiu naquela década foi o Just-in-time (MONDEN 1984).

Devido aos inúmeros trabalhos relatando o sucesso deste conceito de manufatura, principalmente no Japão onde a técnica teve origem na década de 50, rapidamente, passou a ser seguido para melhoria da competitividade dos negócios. A eliminação do desperdício em todas as atividades no âmbito da manufatura, tema central do Just-in-time (JIT) segundo GUNN (1992), torna-se a chave para a atividade manufatureira de ciclo rápido com alta produtividade.

Voltados para a redução dos desperdícios no processo de manufatura, como ferramenta complementar à filosofia JIT, também, têm sido largamente utilizadas a tecnologia de grupo (TG) e a manufatura celular, com inúmeras aplicações bem sucedidas no Japão e antiga Europa Ocidental. Apesar da manufatura celular e a tecnologia de grupo terem seus desenvolvimentos iniciados na Rússia na década de 60, sua utilização no Brasil iniciou-se em 1984, com maior expansão no início da década de 90, principalmente no setor de auto peças. Assim, verifica-se que o tradicional layout funcional, ou taylorista, vem perdendo cada vez mais espaço para o layout celular.

Este contexto evidencia uma mudança de enfoque que coloca a manufatura não mais como uma simples área de suporte, mas como integrante do grupo de fatores determinantes para a competitividade. Neste novo ambiente a manufatura deve ser avaliada em suas dimensões estratégicas, tais como custo, qualidade, serviço e flexibilidade. A flexibilidade, esta nova dimensão estratégica da manufatura, surgiu justamente em função dos consumidores exigirem uma adaptação mais rápida por parte das indústrias com relação à fabricação de novos produtos, que passaram a ser produzidos em vários modelos, tipos ou versões diferentes; e também, em função da exigência de menores prazos e confiabilidade de entrega.

A manufatura celular foi também uma solução encontrada para simplificar a atividade gerencial do sistema de manufatura, pois mesmo que uma empresa atinja, baseada em avanços tecnológicos ou organizacionais, um elevado grau de flexibilidade em seu processo produtivo, torna-se insustentável, a longo prazo, a tarefa de gerenciamento do sistema por um só órgão centralizado. Desta forma, a complexa tarefa de aumentar a performance do sistema, é aliviada pela redução do número de variáveis a serem controlados por gerências focalizadas, uma vez que a grande variedade de produtos de diferentes tipos, é uma exigência competitiva.

Obter um elevado grau de flexibilidade no processo de manufatura é a chave para uma maior competitividade, permitindo uma resposta rápida ao cliente e às variações de demanda, entretanto, depara-se com um contexto de conflito entre estes objetivos. Se por um lado deve-se ser flexível para melhor atender o cliente, por outro lado, não pode ser criado um sistema de manufatura tão complexo a ponto de penalizar sua performance devido sua dificuldade de gestão. Os sistemas flexíveis de manufatura “FMS” (flexible manufacturing systems) são bons exemplos de células que absorvem a questão da flexibilidade. Por outro lado, são recursos que demandam grande investimento, dificultando sua viabilização econômica em países com baixo custo da mão-de-obra direta (MOD).

1.3 - Objetivos

O objetivo deste trabalho é identificar na literatura disponível os conceitos e definições referentes à flexibilidade na manufatura; os métodos disponíveis para a sua quantificação e apresentá-los numa forma conceitual unificada.

Um segundo objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de um estudo de caso, aplicando os conceitos de dimensionamento identificados, buscando os complementos e simplificações necessárias para aplicação efetiva dos mesmos num ambiente celular, propondo um método para avaliação da flexibilidade de manufatura no ambiente celular.

1.4 – A flexibilidade no contexto da manufatura

A tecnologia se considerada como fim em si mesma, e não como um meio para competição, para a melhoria da qualidade de vida, para o progresso da humanidade, não tem sentido. Sem uma correta orientação em direção à eficácia ou eficiência, o desenvolvimento tecnológico poderá conduzir a caminhos incertos, potencialmente afastados dos ganhos. Neste enfoque, utilizando-se dos novos meios tecnológicos disponíveis, deve-se identificar a tecnologia adequada ao objetivo determinado e assegurar, pela análise das medições, a eficácia no alcance destes objetivos.

O ganho, índice pelo qual o sistema gera dinheiro através das vendas (GOLDRATT 1991), deve ser avaliado e monitorado nas fases de projeto e implantação de um novo sistema, de forma a assegurar o resultado ótimo, sob os aspectos mais relevantes para o negócio. GUSTAVSSON

(1984) comenta o conflito entre produtividade e flexibilidade onde, em muitos casos, a maior variabilidade no ambiente de manufatura tem sido assumida com perdas na eficiência e na produtividade. Para alcançar um resultado ótimo em todas as variáveis determinantes da competitividade, e para que não ocorram conflitos com outros aspectos geradores de vantagem competitiva - custo, qualidade e serviço - o relacionamento entre a flexibilidade e estas diferentes fontes de vantagem competitiva da atividade manufatureira, deve ser cuidadosamente avaliado. Com o objetivo de assegurar que a configuração do sistema de manufatura seja adequada para a obtenção da flexibilidade necessária, deve-se controlar parâmetros eficazes para a medição da flexibilidade.

Durante as décadas de 80 e 90, a base da competição para produtos manufaturados estava no baixo custo, que nos últimos anos cedeu lugar para valores como qualidade, confiabilidade e flexibilidade. Numa pesquisa efetuada por ZUKIN e DALCOL (2000) foi evidenciado, que o corpo gerencial das empresas fabricantes de produtos eletrônicos, de cinco estados brasileiros, está colocando em primeiro lugar a questão da gestão das incertezas do ambiente externo e seus impactos no ambiente interno. Mas ao mesmo tempo, estes mesmos gerentes não equacionam a questão da flexibilidade para conviver com estas incertezas. Tal fato evidencia o quanto é complexa esta questão e sua aplicação efetiva.

XAVIER (1997) analisa em sua pesquisa as variáveis que influenciam o bom desempenho das indústrias no mercado, e conclui que a flexibilidade tem uma influência positiva no aumento da lucratividade e da participação no mercado. A relevância do tema é também evidenciada pela literatura conforme demonstrado na tabela 1.1, onde SERSON (1996) mostra que cinco dentre os sete autores citados, colocam a flexibilidade como fator determinante da competitividade. Vale ainda lembrar, que a flexibilidade gera impactos em outros fatores de desempenho como custo, velocidade e confiabilidade de entrega.

A literatura sobre flexibilidade tem crescido de forma acentuada na década de 90, e a maior parte desta literatura dedica-se à pesquisa dos chamados sistemas flexíveis de manufatura (FMS). Estes sistemas complexos controlados por computador, com sistemas automáticos para movimentação de materiais e máquinas de controle numérico (CHEN 1991), representam uma configuração de grande flexibilidade. Entretanto, conforme indicado por CHEN (1991) na figura 1.1, as células de manufatura são aplicadas em ambientes que também demandam um elevado nível de flexibilidade do sistema de manufatura. Em alguns ambientes de manufatura os sistemas flexíveis de manufatura não são recomendados, conforme ilustram as figuras 1.1 e 1.2. Estas figuras auxiliam na identificação do tipo de organização da manufatura para as diferentes condições de demanda de produtos. Baseado na relação de variabilidade onde as células de manufatura são

aplicadas, conclui-se que as células de manufatura podem demandar elevada flexibilidade para sua eficiente operação.

FATORES DE DESEMPENHO	Wild (1980)	Buffa (1984)	Hill (1985)	Skinner (1985)	Fine & Hax (1985)	Hayes et al. (1988)	Slack (1993)
CUSTO	X	X	X	X	X	X	X
QUALIDADE DO PRODUTO	X	X	X	X	X	X	X
CONFIABILIDADE DE ENTREGA	X	X	X	X	X	X	X
VELOCIDADE DE ENTREGA	X		X	X	X	X	X
FLEXIBILIDADE		X		X	X	X	X
LINHA DE PRODUTOS			X			X	
INOVAÇÃO						X	
CONFIABILIDADE DE CUSTO	X						
PRODUTIVIDADE	X						

Tabela 1.1 – Fatores de desempenho prioritários segundo alguns autores
(SERSON 1996)

Outra evidência da importância da flexibilidade para as células de manufatura, pode ser verificada no resultado da pesquisa de WEMMERLÖV e JOHNSON (1997). Dentre os 11 principais fatores que levaram 46 empresas americanas a utilizar células de manufatura, seis fatores estão relacionados à flexibilidade. Os fatores foram classificados pelos participantes da pesquisa num grau de importância de um até cinco e estão relacionados na tabela 1.2.

POSIÇÃO	MOTIVO	GRAU DE IMPORTANCIA
1	REDUÇÃO DO TEMPO DE PROCESSAMENTO	4,51

2	REDUÇÃO DO ESTOQUE EM PROCESSO	4,33
3	MELHORIA DA QUALIDADE DO PRODUTO	4,22
4	REDUZIR O TEMPO DE RESPOSTA AO CLIENTE	4,22
5	REDUZIR AS DISTÂNCIAS PERCORRIDAS	4,14
6	AUMENTAR A FLEXIBILIDADE NA MANUFATURA	4,14
7	REDUZIR CUSTO	3,81
8	SIMPLIFICAR O PLANEJAMENTO DE PRODUÇÃO	3,80
9	MAIOR ENVOLVIMENTO DOS FUNCIONÁRIOS	3,62
10	REDUÇÃO DO SETUP TIME	3,57
11	REDUÇÃO DE ESTOQUE DE PRODUTO ACABADO	3,43

Tabela 1.2 – Motivos para a implementação da manufatura celular
(WEMMERLÖV e JOHNSON (1997))

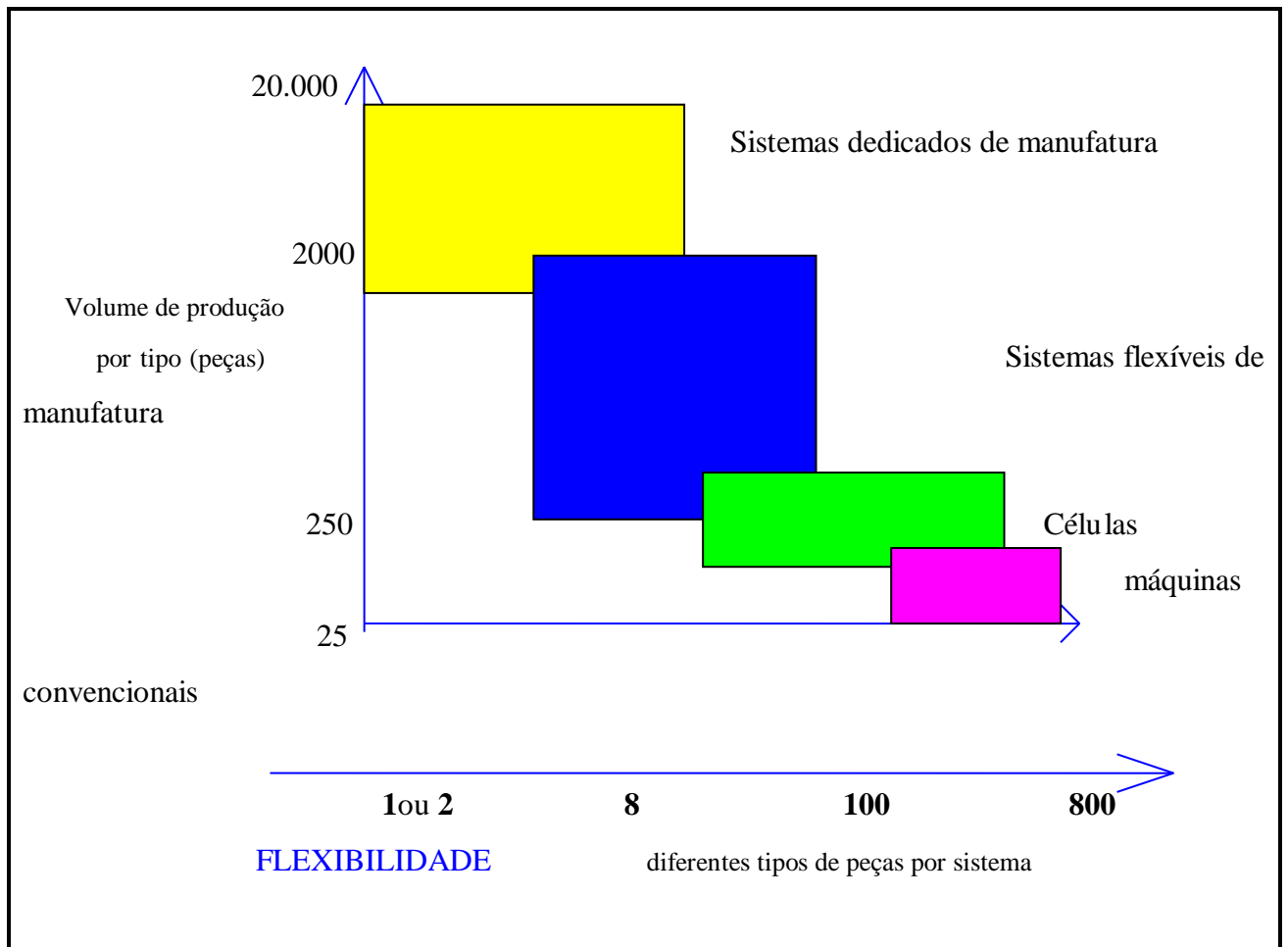


Figura 1.1 – Áreas de aplicação das tecnologias de manufatura (CHEN 1991)

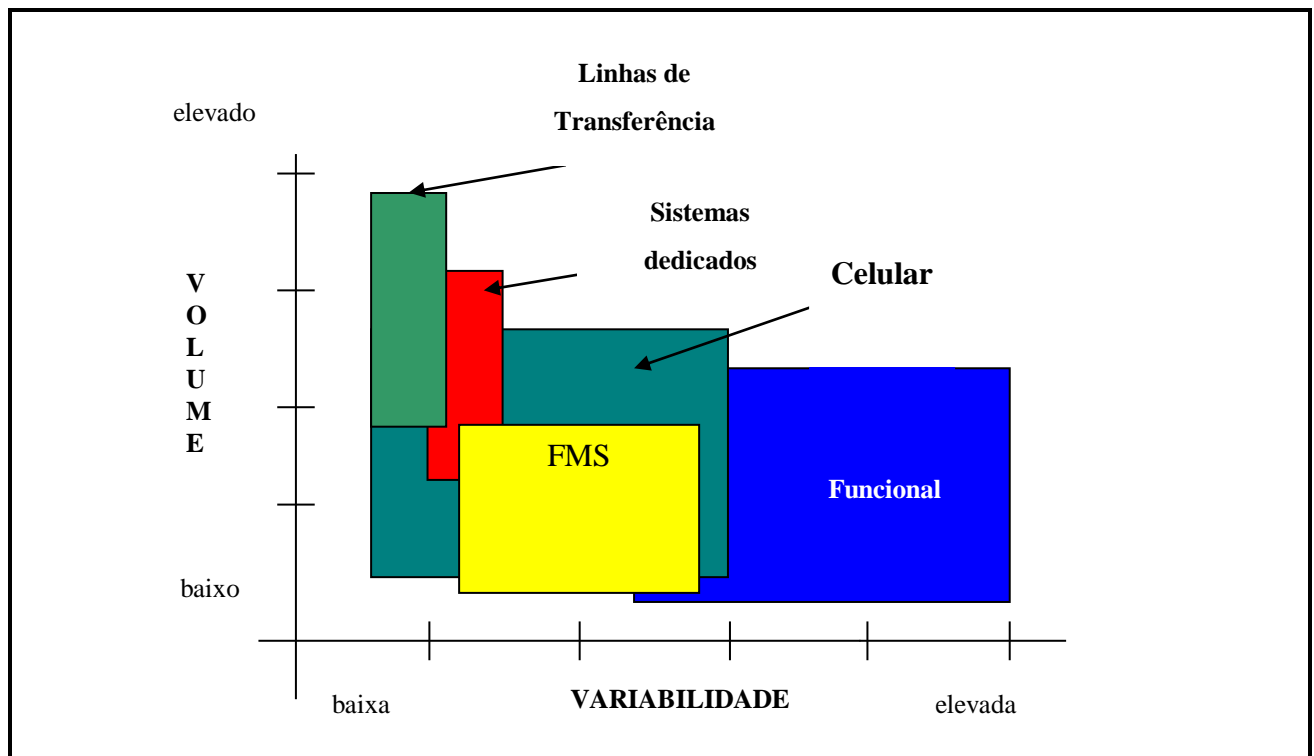


Figura 1.2 – A organização dos sistemas de manufatura sugerido para diferentes ambientes
(AYLOR 2000)

GUPTA e BUZACOTT (1989) comentam que a flexibilidade não é característica exclusiva dos sistemas FMS, mas todo sistema de manufatura tem sua flexibilidade intrínseca, ou seja, possuem um certo grau de flexibilidade. SETHI (1990) apresenta uma relação da bibliografia disponível a respeito dos sistemas FMS.

A literatura disponível sobre flexibilidade é vasta, mas ainda apresenta conflitos em algumas definições, e sendo estes conceitos tão relevantes para a competitividade empresarial, estes conflitos conceituais causam um grande risco na gestão da flexibilidade, comprometendo seu resultado efetivo. DE TONI e TONCHIA (1997) afirmam que a qualidade era, quinze anos atrás, como a flexibilidade é hoje, vaga e de difícil compreensão e, apesar de crítica para a competitividade, era também de difícil implementação.

A manufatura, vista como uma arma estratégica, torna ainda mais crítica a gestão da flexibilidade na manufatura. Conforme afirma CHRYSSOLOURIS e LEE (1992), a flexibilidade nunca poderá ser considerada no processo de decisão se não estiver definida e quantificada de maneira apropriada. A quantificação da flexibilidade tem sido discutida em trabalhos acadêmicos, porém, restrito aos ambientes FMS.

1.5 – Limitações deste trabalho

A literatura disponível sobre os impactos da flexibilidade no sistema de manufatura ilustra a complexidade do tema e suas abrangências estratégica, tática e operacional. Este trabalho estará focado ao nível da flexibilidade tática e operacional, com as mudanças internas e externas, conforme exposto por HYUN e AHN (1992). A flexibilidade no nível organizacional é discutida por VOLBERDA e LEEUW (1996). Baseado também, na hierarquia das dimensões da flexibilidade apresentada por KOSTE e MALHORTA (1999), o trabalho se desenvolverá nos níveis de recurso individual, piso de fábrica e de planta.

A grande influência do risco e incerteza nas decisões relacionadas à flexibilidade, no ambiente de produção, é discutida por JONES e OSTROY (1984), porém fica evidenciada sua relevância genérica ao tema, assim sendo, não será abordada neste trabalho.

Uma vez que o objetivo deste trabalho é a identificação de métodos a serem aplicados no equacionamento da flexibilidade na manufatura, estes métodos identificados serão utilizados na aplicação a ser efetuada, entretanto, não serão aqui detalhados no nível de comprovar sua validade; apenas serão detalhados os resultados das aplicações anteriores, caso estejam disponíveis na literatura. Por envolver diferentes métodos, propostos por diferentes autores, e em muitos casos não validados pelos próprios autores que os propõem, a validação torna-se um trabalho muito extenso para ser incluído nesta dissertação.

É ainda importante salientar que, atualmente, o conceito predominante de flexibilidade refere-se à habilidade de adequar-se às mudanças diversas, com a menor perda para o sistema. As eventuais perdas podem ser equacionadas ao nível econômico. Este trabalho estará concentrado na análise de perdas no campo da eficiência, ou seja, nas perdas eventualmente geradas no ambiente da manufatura e mensuráveis pelos seus itens de controle. A eficiência será avaliada com foco na mão de obra direta, sem a análise da eventual utilização de parte da MOD em outras atividades, ou por conceitos de balanceamento com mão de obra parcial, pois o trabalho sairia da esfera da colocação conceitual dos aspectos da flexibilidade, migrando para aspectos de gestão de piso de fábrica.

Será utilizada como definição de eficiência, a exposta por ROSA (1996), sendo a comparação entre o resultado previsto para o sistema, e o resultado efetivo do sistema, podendo ser este resultado relacionado a qualquer tipo de recurso aplicado, isto é, podendo estar baseado em máquinas, mão-de-obra ou recursos financeiros.

1.6 - Estrutura do Trabalho

Esta dissertação está organizada em cinco capítulos, sendo que o primeiro capítulo apresenta uma abordagem geral sobre o estágio atual da manufatura no Brasil, e de que forma a flexibilidade, e sua medição, estão situadas neste contexto. Deverá estar clara a importância da medição da flexibilidade, que está se tornando cada vez mais importante para a competitividade da atividade manufatureira. Neste capítulo também ficam estabelecidos os objetivos deste trabalho e as limitações do mesmo.

O segundo capítulo contém a revisão bibliográfica efetuada. Primeiramente serão apresentadas as definições conceituais identificadas na literatura e, em seguida, será selecionada uma abordagem conceitual única. Após esta etapa, serão apresentados os métodos de dimensionamento encontrados na literatura, colocando-os sob o enfoque do conceito unificado definido.

A metodologia para o estudo de caso a ser efetuado é apresentada no terceiro capítulo. Neste capítulo, serão feitas as adaptações necessárias dos métodos, identificados até este ponto, e os critérios para obtenção de dados. O desenvolvimento do estudo de caso será relatado no quarto capítulo, onde se define também a escolha do ambiente de aplicação dentro de uma indústria fabricante de autopeças, e a identificação das dimensões críticas para este ambiente.

A conclusão do trabalho encontra-se no quinto e último capítulo, dividida entre a conclusão específica da aplicação, as sugestões para a melhoria do ambiente estudado, a caracterização da contribuição deixada por esta pesquisa, e as sugestões para futuras pesquisas nesta área.

Capítulo 2

Revisão bibliográfica

2.1 – Introdução

Este capítulo apresenta, na primeira parte, uma abordagem sobre a definição de flexibilidade por meio da bibliografia disponível, com uma proposta de definição ao final da mesma. Em seguida, será escolhida uma das estruturas conceituais de análise da flexibilidade identificadas, para ser utilizada como a base conceitual unificada, sobre a qual os métodos de dimensionamento serão desenvolvidos. Na segunda parte deste capítulo, serão apresentados os métodos de dimensionamento da flexibilidade disponíveis na literatura, e a discussão destas sob a base conceitual escolhida.

Apesar do ambiente definido para a aplicação prática ser celular, não será abordada neste capítulo, a bibliografia referente à manufatura celular, e sim apenas aspectos da flexibilidade. Para os interessados em ampliar o conhecimento referente à manufatura celular, uma vasta pesquisa bibliográfica é apresentada por TAHARA (1998). Neste capítulo serão abordados os aspectos da definição da flexibilidade, das dimensões e quantificação (medição) da flexibilidade. Para definir melhor este limite, utiliza-se como referência o esquema proposto por DE TONI e TONCHIA (1998), conforme tabela 2.1, mostrando os diferentes aspectos abordados pela literatura com sua respectiva classificação.

1 – Definição da flexibilidade	<ul style="list-style-type: none"> - Aspecto geral - Referência direta com o ambiente de produção
2 – Fatores determinantes para o investimento em flexibilidade	<ul style="list-style-type: none"> - Incerteza do ambiente externo e interno - Variabilidade dos produtos e processos
3 – Classificação da flexibilidade e suas dimensões	<ul style="list-style-type: none"> - Horizontal ou por fases - Vertical ou hierárquico - Temporal - Por objeto de variação - De acordo com outras variáveis
4 – Medição da flexibilidade	<ul style="list-style-type: none"> - Indicadores
5 – Flexibilidade no nível de decisão	<ul style="list-style-type: none"> - Projeto ou tecnologia - Organizacional ou gerencial
6 – Interpretação da flexibilidade	<ul style="list-style-type: none"> - Prioridade competitiva comparado à performance - Preventiva ou reativa - Potencial ou efetiva - Estratégica ou operacional - Defensiva ou ofensiva - Preventiva para performance futura

Tabela 2.1 – Classificação dos aspectos da flexibilidade de manufatura

DE TONI e TONCHIA (1998)

Com base na tabela 2.1, este capítulo está focado na definição da flexibilidade com referência direta com o ambiente de manufatura, conforme item 1, e a questão da medição da flexibilidade conforme item 4.

2.2 – Definição de flexibilidade

A flexibilidade tem sido estudada com grande atenção há mais de uma década e, ainda hoje, existe uma grande variação na sua definição e interpretação; tal fato acentua a complexidade do estudo conceitual da flexibilidade. O significado de flexibilidade é diferente entre as pessoas e seus respectivos níveis de atuação na atividade empresarial, podendo significar custo nas mudanças de tipos de peças numa célula, capacidade de aumentar ou diminuir o volume de produção de acordo com a demanda do mercado, capacidade de produzir diferentes variações de produto, e certamente tudo isto pode ser chamado de flexibilidade, porém requerem diferentes ações na obtenção deste fator crítico para a competitividade.

Para um foco mais claro sobre a definição da flexibilidade, neste capítulo será abordado o contexto empresarial. Esta abrangência pode ser constatada no quadro da tabela 2.2.

Origem	Campo de aplicação da definição	
Origem	Outras disciplinas	Contexto empresarial
Outras disciplinas	<ul style="list-style-type: none"> - Como característica de interface entre um sistema e seu ambiente - Com o grau de controle homeostático e eficiência dinâmica - Como capacidade de adaptação ou mudança 	<ul style="list-style-type: none"> - Como o range de estados atingíveis e o tempo para esta movimentação (determinado pela variedade de demanda e incerteza)
Contexto empresarial		<ul style="list-style-type: none"> - Baixo custo para mudanças - Mudar sem gerar desorganização - Mudanças em volume, mix, produto, processo - Prioridades competitivas e alterações em negócios

Tabela 2.2 – Origem e aplicação das definições de flexibilidade
DE TONI e TONCHIA (1998)

A definição clara de flexibilidade deve ser conhecida e avaliada a sua prioridade, de acordo com o ambiente competitivo que cada negócio está inserido. Pode-se também afirmar que, a flexibilidade obtida deve ser algo que possa ser vendido, que seja sensível ao cliente e agrega valor ao produto ou serviço. PARKER (1999) afirma que, sem a correta compreensão dos conceitos de flexibilidade, não será possível gerir de forma eficaz a interação entre a mesma e a eficiência; sendo que, somente a partir deste enfoque pode-se conhecer a eficácia do sistema, incluindo-se ao mesmo a variável flexibilidade, além de sua eficiência.

Inicialmente, apresenta-se a definição genérica encontrada no dicionário da língua portuguesa segundo FERREIRA (1992), o conhecido “Aurélio”, onde se tem a flexibilidade como sinônimo de agilidade e destreza; facilidade de ser manejado; aptidão para variadas coisas ou aplicações. No campo industrial e empresarial, segundo TAYMAZ (1989), a questão foi introduzida pela primeira vez por Stigler, em 1939, quando o mesmo apresentou um estudo sobre a curva de custo para pequenos lotes de fabricação. O estudo completo conhecido sobre este tipo de flexibilidade é apresentado por MILLS (1986). GUPTA (1992) coloca que, segundo vários autores, a flexibilidade pode ser definida como a habilidade de um sistema atuar sob circunstâncias de

mudança, ou instabilidade causada pelo ambiente externo ou interno, e acrescenta ainda que, a flexibilidade deve ser o objetivo principal para qualquer sistema de manufatura.

ZELENOVIC (1982) apresenta a definição de flexibilidade de aplicação, como sendo a relação entre a capacidade e a utilização do sistema, e a flexibilidade do sistema de produção, como sendo a probabilidade do sistema de produção permitir sua operação com novas condições do ambiente externo e modificações do produto para um dado limite de parâmetros de projeto. O autor, também define flexibilidade de adaptação, como sendo o tempo necessário para adaptar-se às novas condições do ambiente externo ou interno. Por não estar focando a flexibilidade do sistema como um todo e sim somente a flexibilidade na fabricação, neste trabalho não se pretende um aprofundamento nas questões detalhadas por ZELENOVIC (1982), uma vez que estas são de abordagem muito genérica, não auxiliando no equacionamento.

A conceituação de flexibilidade na manufatura foi feita de forma mais abrangente, pela primeira vez, por BROWNE et al (1984). Após seu trabalho, vários outros trabalhos foram desenvolvidos sob estes mesmos conceitos. Os autores apresentam uma correlação hierárquica entre oito dimensões da flexibilidade, esquematizadas na figura 2.1. Esta hierarquia mostra como uma dimensão da flexibilidade pode interferir em outra. Apresentam, também, uma definição para estes oito tipos de flexibilidade:

- Flexibilidade de Máquina - É a habilidade de substituir ferramentas quebradas ou desgastadas, substituir ferramentas no magazine, desmontar ou montar dispositivos sem interferências ou longo tempo de set-up. É a facilidade com que o sistema executa as trocas necessárias para produzir um determinado conjunto de peças.
- Flexibilidade de Processo - É a habilidade de variar as etapas necessárias para concluir uma tarefa. Permite que várias diferentes tarefas sejam concluídas, num mesmo sistema, usando sua característica variedade de recursos.
- Flexibilidade de Produto - É a habilidade para a troca do atual produto para um novo produto dentro de um definido espectro de forma rápida e econômica.
- Flexibilidade de Roteamento - É a habilidade de variar a seqüência de visitas às máquinas para a produção de um determinado conjunto de peças. Esta habilidade existe quando existem diferentes rotas alternativas para produção de um produto, ou quando as máquinas executam diferentes tarefas.
- Flexibilidade de Volume - É a habilidade de operar o sistema em diferentes volumes de forma lucrativa.
- Flexibilidade de Expansão - É a capacidade de construir o sistema e de expandir o mesmo quando necessário, de forma fácil e modular.

- Flexibilidade de operação - É a capacidade de alterar a ordem das operações, entre várias operações, para cada peça envolvida.
- Flexibilidade de Produção - É a habilidade para trocar o mix de produção, de forma rápida e econômica, entre as peças que um determinado sistema pode processar.

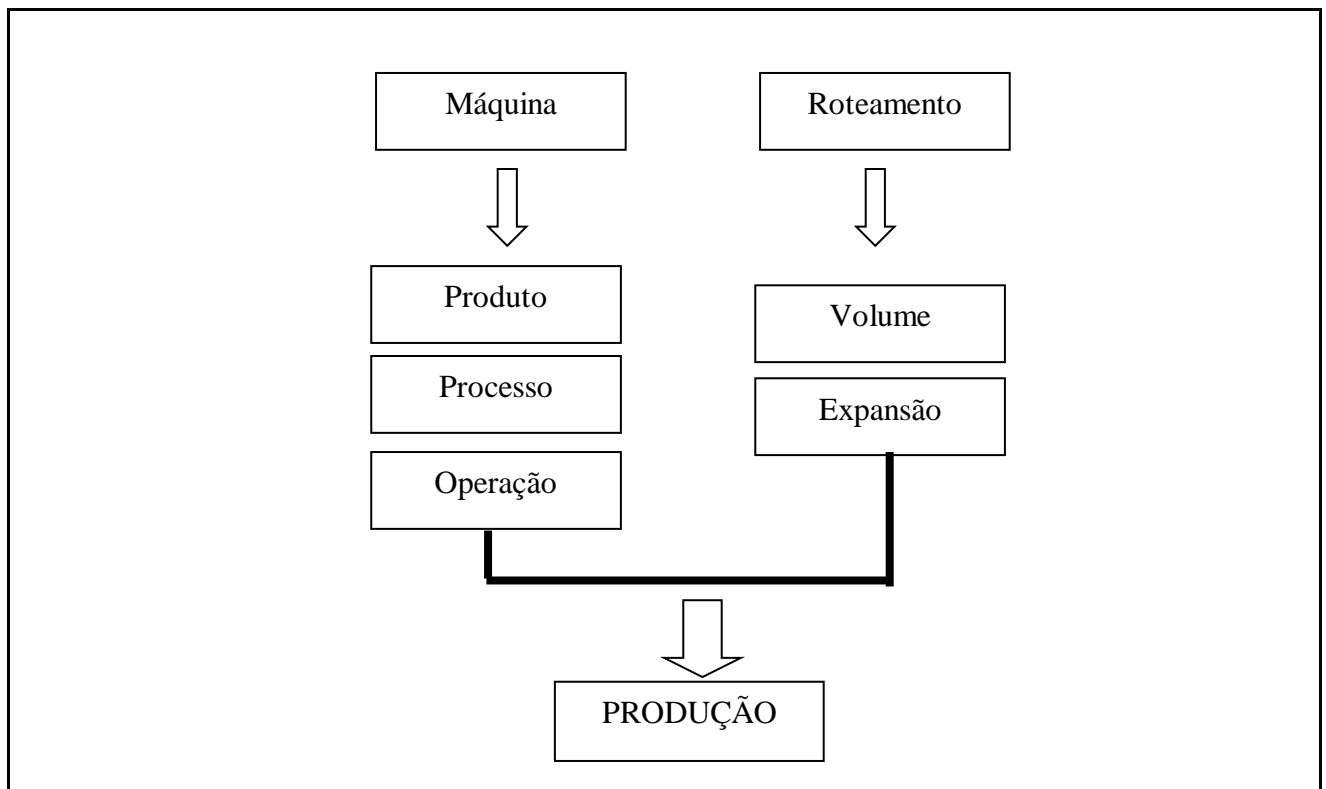


Figura 2.1 – Relacionamento hierárquico entre os diferentes tipos de flexibilidade

BROWNE et al. (1984)

Na estrutura do estudo da flexibilidade apresentada por TAYMAZ (1989), o mesmo coloca a flexibilidade dividida em três níveis de análise, conforme indica a figura 2.2. Apesar de ser apresentado de forma esquemática, o mesmo apresenta a relação existente entre as diferentes dimensões da flexibilidade.

FRAZELLE (1986) apresenta uma definição similar à anterior, porém introduz a definição de flexibilidade de curto e longo prazo. Flexibilidade de curto prazo é a capacidade de absorver as mudanças internas devido ao escopo do plano de vendas conhecido, e de longo prazo inclui a capacidade de absorver as mudanças necessárias para uma nova estratégia de negócio incluindo, ainda, as mudanças qualitativas e quantitativas. Alguns tipos de flexibilidade são apresentados por FRAZELLE (1986):

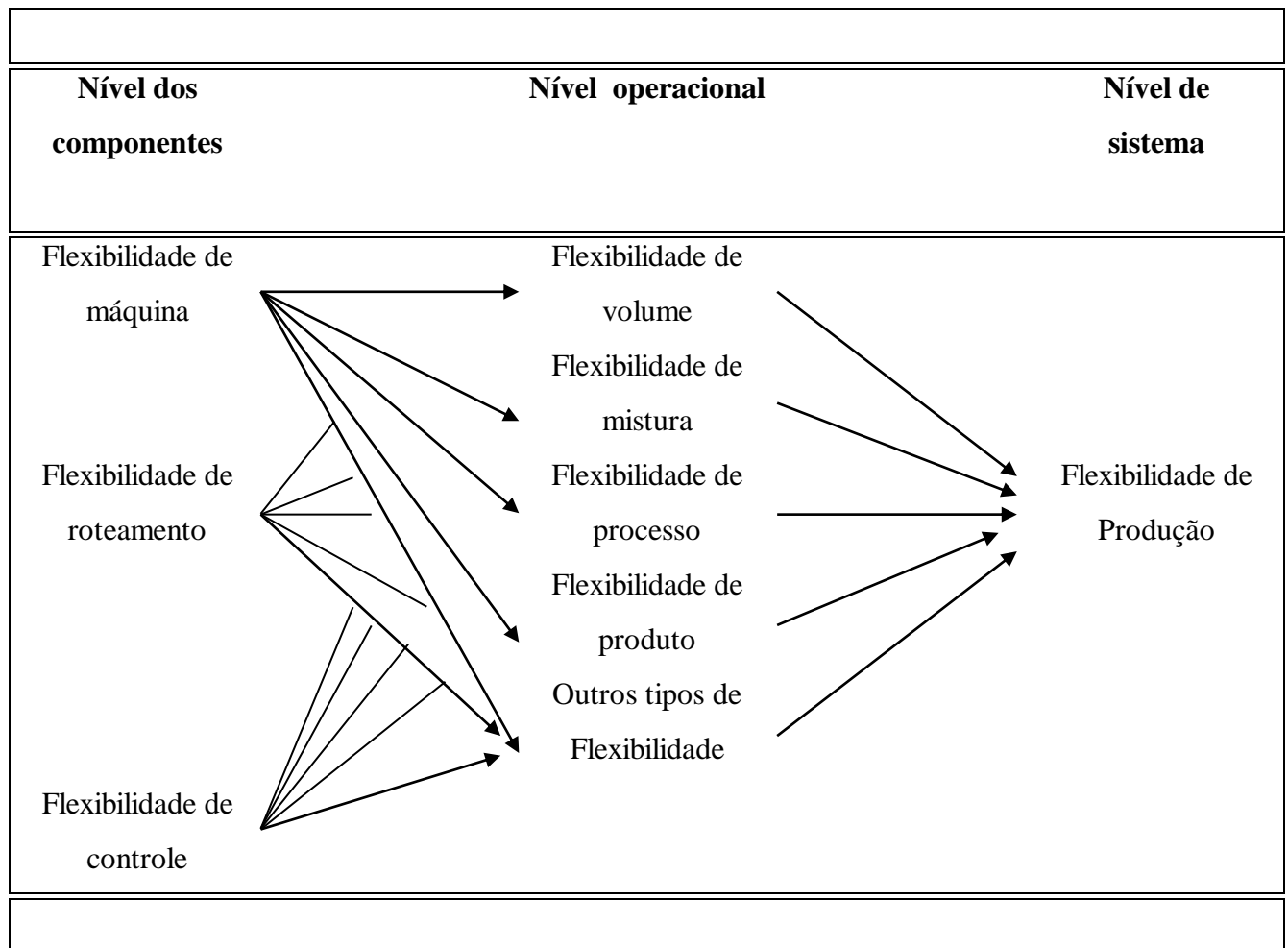


Figura 2.2 – Estrutura hierárquica dos tipos de flexibilidade

(TAYMAZ 1989)

- Flexibilidade de Manufatura - É a capacidade de absorver mudanças de roteamento, volume, mix de produtos e projeto.
- Flexibilidade de Produto - É a capacidade de executar qualquer produto a qualquer momento.
- Flexibilidade de Volume - É a capacidade de absorver as mudanças de volume.
- Flexibilidade de Roteamento - É a capacidade de processar peças com diferentes roteiros de fabricação e matéria prima.
- Flexibilidade de Projeto - É a capacidade de introdução rápida, e a baixo custo, das mudanças de engenharia efetuadas no produto.
- Flexibilidade de Sistema de Informação - É a capacidade de adequação do planejamento de produção, frente a rápidas mudanças em volume e variedade de produtos.

GERWIN (1987) define flexibilidade como sendo a capacidade de responder de forma eficaz às incertezas e situações de mudança do ambiente externo e interno. O mesmo introduz uma classificação vertical de flexibilidade, apresentando cinco níveis de flexibilidade, conforme figura 2.3:

- Flexibilidade ao nível de máquina ou um sistema - É a identificação de um elemento unitário, podendo ser uma máquina ou uma célula.
- Flexibilidade de uma determinada função da manufatura - Por exemplo, montagem. Podem estar envolvidas várias atividades de montagem.
- Flexibilidade de processo para um determinado produto - Envolve todas as operações e recursos aplicados para a fabricação do respectivo produto.
- Flexibilidade de uma fábrica - Envolve todo o sistema de manufatura de uma unidade, podendo ser uma planta ou uma mini-fábrica.
- Flexibilidade ao nível da empresa - trata de todo o complexo empresarial.

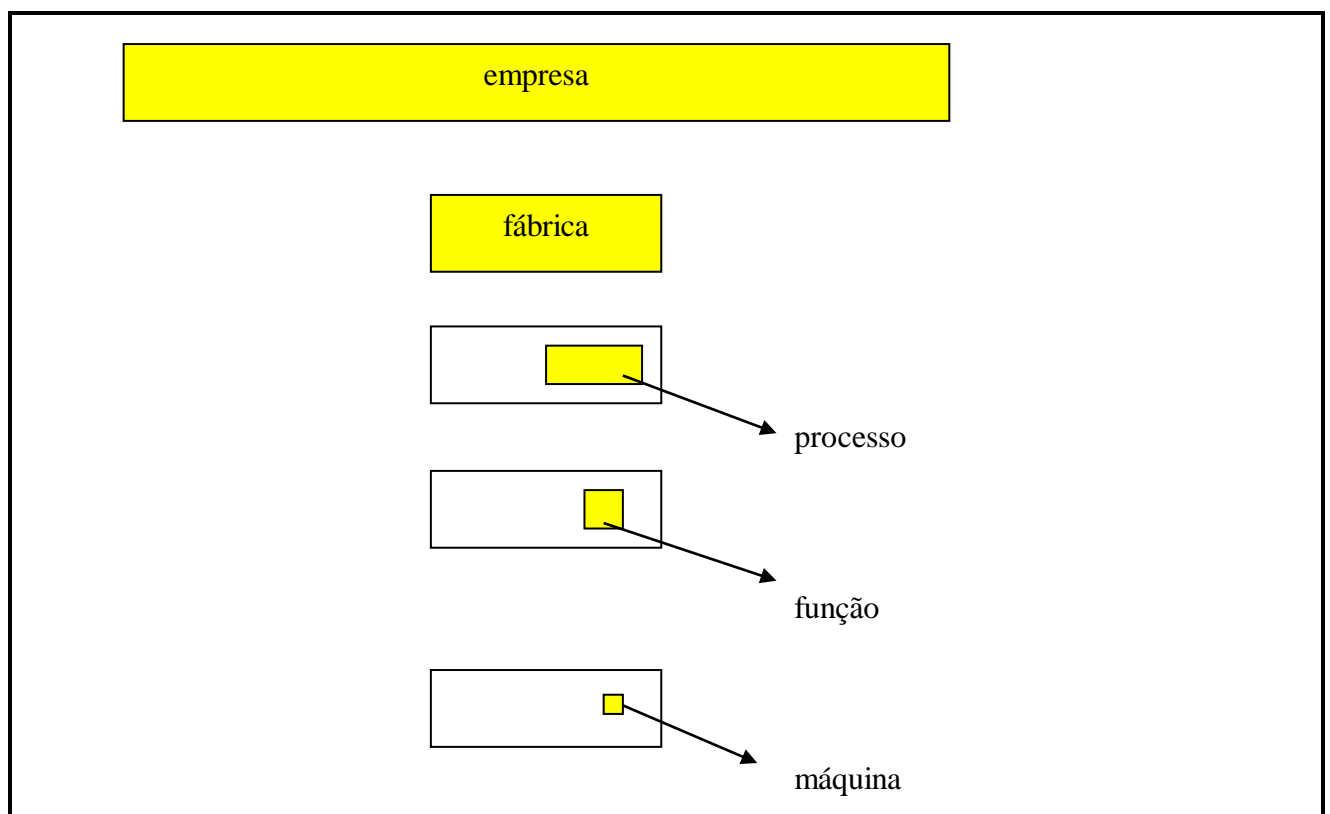


Figura 2.3 – Classificação Vertical da Flexibilidade

(Gerwin 1987)

GERWIN (1987) apresenta também, uma definição para sete diferentes tipos de flexibilidade:

- Flexibilidade de Mix - É a capacidade de produzir diferentes produtos. A fonte de incerteza é a demanda por diferentes tipos.
- Flexibilidade de Mudança - É a capacidade do processo administrar mudanças de mix. Sua fonte de incerteza é a redução do ciclo de vida dos produtos.
- Flexibilidade de Modificação - É a capacidade do processo administrar mudanças efetuadas no produto em si. Melhoria funcional dos produtos.
- Flexibilidade de Roteamento - É a capacidade do processo administrar alterações de roteamento nos seus produtos típicos. Nestes casos gerados por quebra de máquinas.
- Flexibilidade de Volume - É a capacidade do sistema de produção de administrar mudanças no volume de peças a serem produzidas.
- Flexibilidade de Materiais - É a capacidade de administrar mudanças freqüentes de tipos, dimensões e volumes dos materiais a serem utilizados no processo de manufatura.
- Flexibilidade de Sequenciamento - É a capacidade de reorganizar o fluxo de alimentação dos materiais em função de atrasos com os mesmos.

GUPTA e BUZACOTT (1989) fazem um importante alerta, quanto ao cuidado que deve ser tomado ao se buscar o aumento da flexibilidade de um sistema de manufatura. Este aumento deve ser viabilizado no nível de sistema e não de forma isolada. O aumento da flexibilidade de mix de produção não pode ser obtido, com a simples redução dos tempos de troca, pois uma nova sistemática de programação da produção deve ser implantada para assegurar uma adequação do sistema.

Com uma definição também focada na atividade industrial, pode-se condicionar as definições iniciais ao complemento colocado por CHRYSSOLOURIS e LEE (1992), que estabelecem uma relação inversa entre flexibilidade e sensibilidade à mudanças; e colocam que a máxima flexibilidade existe quando uma mudança pode ser feita sem qualquer ônus ao sistema, deixando também implícito o fato de que a flexibilidade é algo que pode ser quantificado.

Este conceito é também apresentado por CLARK (1995), quando o mesmo define o conceito da fronteira de performance. O conceito consiste na avaliação dos impactos gerados na atividade de manufatura com o respectivo aumento da variabilidade no processo, sem alteração no sistema de manufatura. A figura 2.4 auxilia na compreensão do conceito, mostrando de forma gráfica a curva de performance numa indústria fabricante de equipamentos médicos.

A curva 2 apresenta a fronteira de performance atual. No ponto C, indica-se o nível de variabilidade existente atualmente na atividade de manufatura, e seu respectivo custo. A curva 1 representa uma nova fronteira de performance, obtida após uma reorganização do sistema. Observa-

se que o ponto A indica o mesmo nível de variabilidade, mas, com um custo reduzido. Uma vez que o objetivo da empresa é aumentar a variabilidade pela introdução de novos tipos de produtos, o ponto B indica o nível de variabilidade alcançado após a introdução dos novos tipos, e seu custo ainda continuou menor que a condição no ponto C.

Esta curva de performance é característica do nível de flexibilidade do sistema de manufatura. Em seu artigo, CLARK (1995) não aborda a quantificação da flexibilidade, mas apresenta a necessidade de se equacionar a variabilidade e seus impactos em diferentes níveis de flexibilidade.

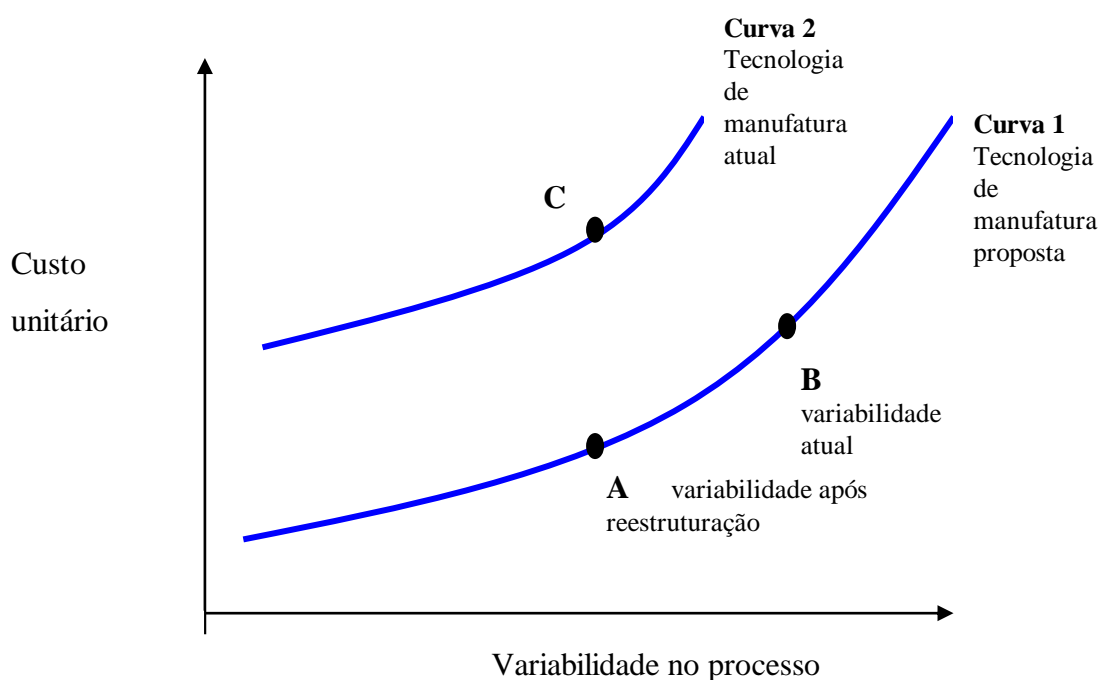


Figura 2.4 – Fronteira de performance
(CLARK 1995)

CAULLIRAUX (1992) apresenta de forma resumida, a definição apresentada por BROWNE et al. (1984), e propõe um método para avaliar a potencialidade de uma certa empresa competir, sustentada pela sua flexibilidade. O método proposto avalia a flexibilidade do negócio, incluindo fatores como custo de estoque, importância relativa das operações, custo total variável, volume de produção e outros parâmetros, lembrando ainda que a matriz sugerida pelo autor deve ser formada pelas dimensões competitivas de cada negócio. No exemplo descrito pelo mesmo, foi utilizada uma indústria de monitores para computadores, e comparada com uma indústria de unidades de disco rígido para computadores. O mesmo comprova a maior viabilidade da indústria de discos rígidos ter

sucesso com uma melhoria de sua flexibilidade. Não será explorado este enfoque na aplicação a ser desenvolvida, pois não se pretende definir o valor da flexibilidade para o ambiente onde se destina a aplicação, e sim, baseado apenas em parâmetros de eficiência no ambiente da célula, quantificar a flexibilidade.

CHRYSSOLOURIS e LEE (1992) apresentam uma definição para dois tipos de flexibilidade:

- Flexibilidade de Produto - É a capacidade do sistema operar com alterações no produto a ser produzido. Isto reflete a capacidade do sistema de produzir diferentes tipos de produtos com as mesmas máquinas e dispositivos. No curto prazo, isto significa que o sistema tem a capacidade de produzir pequenos lotes de forma econômica e de se adaptar a variações de demanda de produtos. Em longo prazo, significa que o sistema pode ser utilizado para diferentes ciclos de vida do produto, assegurando uma melhor eficiência de investimento.
- Flexibilidade operacional - É a capacidade do sistema de se adaptar às alterações entre capacidade de produção e demanda de produtos. Isto reflete a capacidade do sistema de produzir um conjunto de produtos utilizando diferentes máquinas, materiais, operações e seqüências de operações, e a capacidade do sistema se contrair e expandir de forma fácil. Também, inclui-se nesta definição, a capacidade do sistema operar mesmo com a ocorrência de quebra de máquinas e absenteísmo. Isto é resultado de máquinas e processos versáteis, projeto de produto flexível com processos alternativos, movimentação de materiais flexível e um inteligente sistema de controle de produção.

HYUN e AHN (1992) definem flexibilidade como sendo a capacidade de manutenção ou melhoria de performance em um ambiente de grande variabilidade e dinâmica. Também argumentam, que a definição mais comum, a de operar sob boas condições de performance e sob vários tipos de variações de ambiente, exclui a questão da capacidade gerencial para a gestão destas mudanças. HYUN e AHN (1992) apresentam conforme a figura 2.5, uma estrutura conceitual unificada sobre a relação dos diferentes tipos de flexibilidade e em diferentes níveis dentro da empresa como único sistema; que deve ser avaliado em conjunto. A definição de cada dimensão de flexibilidade apresentada na figura 2.5 é baseada em definições de diferentes autores.

Utilizando-se de definições disponíveis na literatura, HYUN e AHN (1992) apresentam nas tabelas 2.3 e 2.4, a seguir, as definições para alguns tipos de flexibilidade; distinguindo as mesmas numa visão de curto, médio e longo prazo.

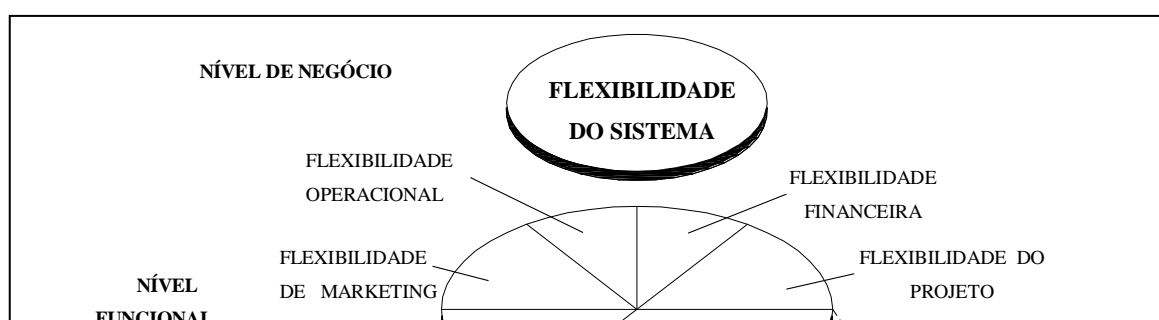


Figura.2.5 – Conceituação esquemática da Flexibilidade
(HYUN e AHN 1992)

	<i>Flexibilidade Estática</i>	<i>Flexibilidade Dinâmica</i>	
<i>Flexibilidade de</i>	Habilidade para administrar	Habilidade para conduzir atividades de	Flexibilidade

Programa (interna)	problemas de qualidade e materiais. Habilidade para controlar um elevado grau de variações de sequenciamento e programação de fábrica.	melhoria contínua ou correções de não conformidades. Habilidade para promover a melhoria da qualidade. Promover elevado grau de conhecimento da mão de obra direta.	Operacional de curto prazo
Flexibilidade de Volume (Externa)	Habilidade de ajustes em flutuações de volume no curto prazo. Disponibilidade de capacidade produtiva nas operações mais lucrativas. Habilidade de se ajustar à mudanças de mix.	Habilidade de promover as alterações de capacidade produtiva, medida pelo tempo e custo necessários para tal.	Flexibilidade Tática de médio prazo
Flexibilidade de Processo (interna)	Rápido set-up. Grande variedade de especificações. Operadores multi funcionais. Máquinas para múltiplas operações. Centros de trabalho bem integrados	Habilidade de conduzir a melhoria contínua do processo. Habilidade para inovação dos processos.	Flexibilidade Estratégica de Longo Prazo
Flexibilidade de Produto (externa)	Habilidade de absorver as mudanças de projeto. Habilidade para substituir o mix de produtos.	Habilidade na introdução de novos produtos. Habilidade na introdução de novas famílias de produto. Habilidade na melhoria contínua da flexibilidade estática.	Flexibilidade Estratégica de Longo Prazo
Flexibilidade de Expansão (externa)	Habilidade de aumentar a capacidade produtiva. Atuar com processos e layout modulares	Habilidade para aumentar a capacidade produtiva, medida pelo tempo e custo.	Flexibilidade Estratégica de Longo Prazo

Tabela 2.3 – Mapa da integração da flexibilidade na manufatura

(Hyun e Ahn 1992)

Flexibilidade de máquina	Habilidade para substituir ferramentais em fim de vida, ou por quebra, substituir ferramentais no magazine, trocar dispositivos sem gerar grandes distúrbios no sistema. A
---------------------------------	--

	capacidade de processar uma grande variedade de produtos.
<i>Flexibilidade de roteamento</i>	Habilidade de variar as máquinas visitadas na execução de um trabalho, e assegurar a execução do conjunto de peças mesmo na ocorrência de paradas de máquina devido à manutenção.
<i>Flexibilidade de controle</i>	Habilidade de interagir com alterações de pedidos em várias operações para cada tipo de produto.
<i>Flexibilidade da mão de obra direta</i>	Habilidade dos operários em trabalhar em diferentes estações de trabalho, máquinas ou alterações de método de trabalho e padrões.

Tabela 2.4 – Flexibilidade de manufatura sob o ponto de vista do sistema
(Hyun e Ahn 1992)

Para o ambiente externo podem haver variações na interpretação da flexibilidade, conforme apresentam os autores na tabela 2.5.

<i>Flexibilidade de expansão</i>	É a habilidade do sistema em operar aumentando sua capacidade para atendimento de demanda, ou com aumento na variedade de produtos.
<i>Flexibilidade de produto</i>	É a habilidade de operar com produtos de grande complexidade, com características fora do padrão e ser líder na introdução de novos produtos. Isto compreende a habilidade de efetuar mudanças funcionais ou alterações de engenharia.
<i>Flexibilidade de mix</i>	É a habilidade do sistema de manufatura operar com mudanças no mix de produto, seja em volumes ou tipos de produtos.
<i>Flexibilidade de volume</i>	É a habilidade de aumentar a capacidade produtiva de forma rápida, e atender as demandas em condições de “lead time” fora do usual. Incluir também a capacidade de operar de forma lucrativa em diferentes volumes de produção.
<i>Flexibilidade de Programa</i>	É a habilidade de gerir as contingências rotineiras da operação, como problemas de qualidade, custos, quebra de máquinas, materiais, e outras ocorrências que impliquem na aplicação de soluções alternativas para atendimento do programa de entrega.

Tabela 2.5 – Flexibilidade na manufatura associada ao ambiente
(Hyun e Ahn 1992)

Os autores introduzem um terceiro ponto de vista sobre a flexibilidade, que se refere ao processo de decisão para curto, médio e longo prazo, conforme tabela 2.6.

<i>Flexibilidade estratégica de</i>	Habilidade do sistema de se renovar no mercado, alterar seus planos estratégicos,
--	---

<i>longo prazo</i>	destruir estratégias em andamento quando alguns clientes deixam de ser atrativos, ser competitivo na implantação de novos produtos em tempo e custo.
<i>Flexibilidade tática de médio prazo</i>	Habilidade de operar com diferentes taxas de produção, administrar grande variedade de produtos conhecidos, aceitar produtos diferentes com pequenas alterações de projeto, controlar e monitorar o processo de manufatura sob seus aspectos mais importantes, converter a planta para usos alternativos.
<i>Flexibilidade operacional de curto prazo</i>	Habilidade de reiniciar, ajustar entre tarefas conhecidas. Habilidade de permitir um elevado grau de variação de sequenciamento, programação, e outras rotinas do sistema.

Tabela 2.6 – Flexibilidade na manufatura sob o ponto de vista da decisão

(Hyun e Ahn 1992)

Com o auxílio destas definições, os autores conseguiram sintetizar os conceitos de flexibilidade sob diferentes pontos de vista. Sob o ponto de vista gerencial este se torna o aspecto fundamental para assegurar a obtenção da flexibilidade do sistema, pois flexibilidade é bem mais que simplesmente recursos flexíveis, e o fator crítico é ter claramente definido os diferentes tipos de flexibilidade e sua relevância para curto, médio e longo prazo. Na aplicação a ser desenvolvida, será abordado o aspecto operacional e tático, ou seja, de curto e médio prazo.

GUPTA (1993) apresenta uma classificação vertical de flexibilidade em quatro níveis:

- Flexibilidade de máquina - como sendo a capacidade de uma determinada máquina de executar uma quantidade de diferentes componentes de forma efetiva.
- Flexibilidade de célula - Neste caso, devemos contemplar a mão de obra, alimentadores, dispositivos, máquinas e sistemas de controle.
- Flexibilidade no nível de planta - Neste caso pode-se estabelecer a mesma relação existente entre célula e máquinas para planta e células. O autor define que para este nível de flexibilidade a medição da flexibilidade deve envolver os aspectos econômicos. Também neste nível, se temos uma planta flexível, pode-se afirmar que o seu custo é relativamente estável, para diferentes níveis de volume e variabilidade de produtos.
- Flexibilidade da corporação - Apesar de ser o nível de maior complexidade para avaliação, podem ser utilizados os parâmetros de performance como referencia.

GERWIN (1993) apresenta uma abordagem sobre a medição da flexibilidade, demonstrando os aspectos específicos, que podem auxiliar na definição de critérios para esta medição em cada ambiente. Embora não defina nenhum equacionamento específico, seu trabalho é de grande contribuição para uma análise crítica da flexibilidade.

DAS e NAGENDRA (1993) apresentam uma definição para três diferentes tipos de flexibilidade:

- Flexibilidade de roteamento - É a habilidade do sistema para produzir um determinado grupo de produtos sob uma variedade de diferentes rotas de fabricação, onde uma rota é definida por uma série de máquinas ou centros de trabalho visitados e seu tempo de processamento nestes pontos.
- Flexibilidade de máquina - É a habilidade de uma máquina em processar diferentes operações de forma eficiente.
- Flexibilidade de mix de produto - É a relação de diferentes produtos que o sistema está apto a produzir e seu respectivo volume.

CORREA (1994) define flexibilidade como sendo a interface entre o sistema e o ambiente externo, funcionando como um filtro para absorver as variações do ambiente externo.

GROOTE (1994) apresenta uma definição comparativa de flexibilidade afirmando que uma tecnologia “A” é mais flexível que “B”, se um aumento da variabilidade do ambiente, causar na tecnologia “A” uma perda de performance menor que na tecnologia “B”.

BENJAAFAR (1994) apresenta uma definição de flexibilidade para um FMS, afirmando que neste caso a máxima flexibilidade é obtida quando o tempo de espera de um trabalho, entre as estações do sistema, é zero. Numa célula de manufatura existem máquinas dedicadas para uma determinada família de produto e sua respectiva seqüência operacional, que dependendo de fatores como tempo de processamento e seqüência da programação da célula, poderá gerar um “pulmão” intermediário numa determinada operação da célula. Assim, poderia ser utilizado o mesmo conceito de avaliação exposto pelo autor. Na aplicação a ser desenvolvida, entretanto, não será possível aplicar na íntegra o conceito matemático, pois este se destina a um FMS. Pode-se entretanto, comparar este tipo de descrição, à flexibilidade de roteamento.

Deve-se manter, no entanto, bem diferenciado este conceito da espera de um componente, para execução de uma determinada operação. A situação normalmente detectada numa célula, é o surgimento de um “pulmão” intermediário devido ao desbalanceamento da mesma. Neste caso, a estação de trabalho está disponível para o trabalho no respectivo componente, que normalmente é executado em quantidade superior a uma peça, e a peça seguinte encontrará esta estação ocupada. O mesmo autor alerta também, que para obter-se um tempo de espera reduzido entre as estações de um FMS, haverá certamente a necessidade de investimento em recursos que seriam utilizados somente em parte do tempo de trabalho, e agregariam um custo adicional ao sistema. Para um

trabalho de equacionamento econômico da flexibilidade, estas seriam variáveis muito importantes para o estudo.

UPTON (1994) define flexibilidade como sendo a capacidade de mudar ou reagir a mudanças com pequena ou nenhuma perda em tempo, custos ou performance. O autor apresenta também, uma definição para flexibilidade externa e interna:

- A flexibilidade externa refere-se ao item a ser processado e suas respectivas variações. Pode ser medida pela probabilidade de um novo item requisitado pelo mercado ser processado com os recursos tecnológicos disponíveis, e assim trata-se de uma questão relacionada à tecnologia aplicada na manufatura e não somente referente ao arranjo físico dos recursos.
- A flexibilidade interna refere-se às variações internas do processo, como por exemplo, a quebra de máquinas ou ferramentas. Pode ser medida pela taxa de produção do sistema sem os distúrbios rotineiros, relacionado à taxa de produção do sistema com os seus respectivos distúrbios rotineiros. Esta flexibilidade está relacionada apenas à tecnologia aplicada e a eficácia da gestão de manutenção dos equipamentos aplicados na produção.

O autor ainda apresenta como proposta de medição da flexibilidade de máquina, a quantidade de peças produzidas no tempo total de interrupção do trabalho da mesma. Também propõem considerar a relação do tempo total de set-up do sistema em relação ao tempo total disponível do mesmo para a operação, como sendo a flexibilidade de operação do sistema.

UPTON (1994) apresenta também, uma conceitualização esquemática da flexibilidade, para melhor equacionamento da mesma no ambiente gerencial. O autor coloca que a flexibilidade deve ser identificada primeiramente em suas dimensões, ou tipos de flexibilidade. Em seguida, determina sua abrangência operacional, tática ou estratégica para definição do tempo de resposta envolvido, e finalmente, quais os elementos desta dimensão são realmente importantes para os objetivos. A figura 2.6 apresenta este conceito de forma esquemática, e introduz três novas variáveis para avaliação, que são os elementos: Amplitude, Uniformidade e Mobilidade. O autor define um horizonte de segundos até dias para o ambiente operacional, meses para os objetivos táticos e anos para os estratégicos.

A amplitude (R) é dividida em duas, na proposta de KOSTE e MALHOTRA (1999). A amplitude (RN) indica o número de opções, e a amplitude (RH), a diferença entre as opções. Rotula-se como opções, o número de variáveis à que está exposto o sistema. Pode-se considerar como exemplo duas indústrias de automóveis, A e B, sendo que ambas produzem dois diferentes modelos de automóveis, assim $RN = 2$. Porém, estes modelos são muito diferentes, na planta B, um jipe e um carro de passeio três volumes, enquanto na planta A, são dois carros de passeio três

volumes. A variável RH deverá ser utilizada para criar um grau de diferenciação entre as duas opções existentes em cada planta, e deverá ser definido por parâmetros específicos de cada ambiente com o auxílio de seus especialistas.

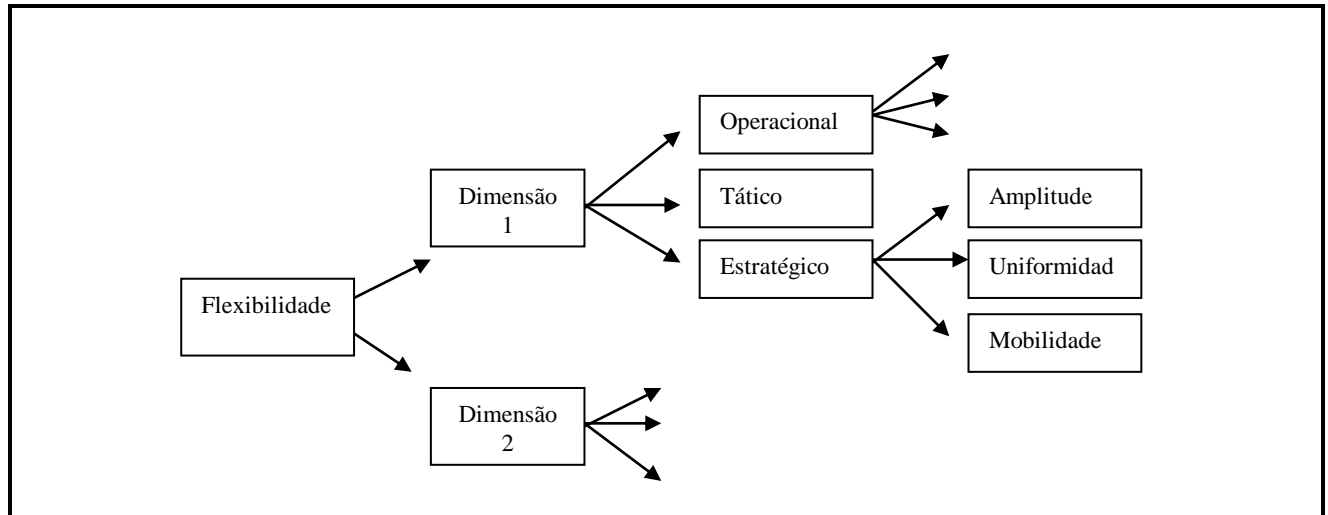


Figura 2.6 – Estrutura esquemática para análise da flexibilidade

UPTON (1994)

A uniformidade (U) é também reconhecida por vários autores, e indica o comportamento de alguns indicadores durante o período de mudança. Quanto menos flexível for o sistema, maior será o número de “picos” e “vales” no comportamento do indicador ao longo da mudança de estado. Estes indicadores podem ser de produtividade, eficiência, refugo, tempo de processamento, qualidade final do produto, custos, entre outros.

A mobilidade (M) é apresentada por UPTON (1994 e 1995-2) e por de KOSTE e MALHOTRA (1999), como sendo a capacidade do sistema de manufatura trocar o produto a ser produzido, de forma rápida, e sem perdas para o sistema. É, então, a habilidade de mudança de estado, para uma resposta rápida ao mercado em situação não programada antecipadamente, causando, assim, um impacto em todos os outros itens já comprometidos e que devem ser reorganizados pelo mesmo sistema. A medição pode ser feita pelo custo da mudança ou o tempo necessário para a mesma. Não devem ser considerados os custos relativos à obtenção da nova capacidade, mas apenas os custos gerados pelo movimento de mudança, podendo também, serem incluídos refugos, retrabalhos e outros.

De forma esquemática, pode-se colocar estas variáveis conforme a figura 2.7. O ambiente um é o ambiente atual, e o ambiente dois é o potencial novo ambiente que a empresa irá se deparar

no futuro, ou ainda, o ambiente de um concorrente, com o qual se deseja comparar por questões de “benchmark”.

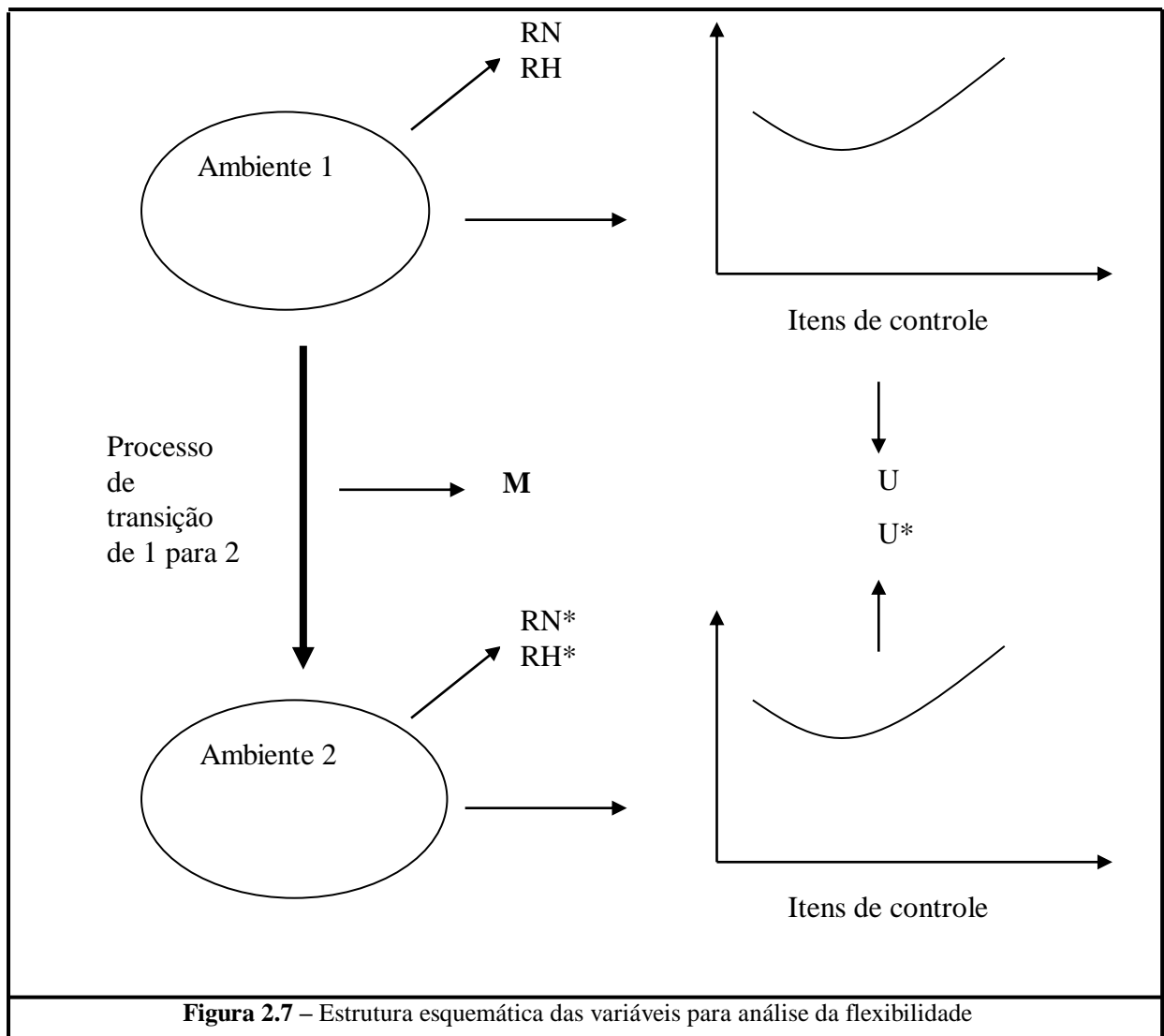


Figura 2.7 – Estrutura esquemática das variáveis para análise da flexibilidade

O conceito de flexibilidade, quando no ambiente organizacional ou do sistema, é apresentado por LEEUW e VOLBERDA (1996). Estes autores comentam que, sob variação do ambiente, é muito importante a reavaliação da estrutura dos indicadores ou itens de controle do sistema. Uma vez sob um certo nível de variação do ambiente, os mesmos podem deixar de expressar o efetivo resultado. Desta forma, perde-se o controle do sistema, devido a ineficácia dos indicadores. A flexibilidade neste nível é colocada como sendo, a capacidade de controle do sistema sob elevado nível de mudança, gerada pelo ambiente externo, ou neste contexto, pode também, ser definida como o grau com que a organização consegue absorver as mudanças necessárias de procedimentos, para assegurar a sua capacidade de controle sobre o sistema.

Os mesmos autores, ainda, classificam este tipo de flexibilidade em quatro grupos:

- Flexibilidade passiva interna, quando a estrutura deve ser modificada em função das mudanças de ambiente.
- Flexibilidade ativa interna, como sendo a habilidade de promover as mudanças antes de ser afetado pelas mudanças de ambiente.
- Flexibilidade passiva externa, como sendo a habilidade de manter o ambiente estável por meio de uma postura de marketing que assegure isto.
- Flexibilidade ativa externa, como sendo a capacidade de direcionar o ambiente de acordo com os interesses do negócio, por meio de um efetivo trabalho de marketing.

DUGUAY et al (1997) define a flexibilidade no ambiente de manufatura, como sendo a capacidade do sistema se desenvolver ou atuar sem grandes perdas, com as incertezas do ambiente externo. O autor define dois tipos de flexibilidade:

- Flexibilidade de volume - A capacidade do sistema de manufatura absorver alterações de demanda do ambiente exterior.
- Flexibilidade de produto - A capacidade de processamento de diferentes produtos pelo sistema de manufatura.

O mesmo autor também expõe a definição de empresa flexível encontrada no relatório “Made in América”, pelo MIT. Define-se flexibilidade total, como sendo a capacidade de atender as demandas de mercado em um ambiente de grande variabilidade e incertezas (como por exemplo, demanda, paradas por manutenção, produtos customizados, diferentes tempos de resposta, outros) pelo mesmo preço ofertado aos clientes que são atendidos pelo conceito de produção em massa, em linhas dedicadas.

Em algumas situações a definição de flexibilidade aparece de acordo com o trabalho a ser desenvolvido. Um exemplo disto é a definição apresentada por SEIFODDINI e DJASSEMI (1997):

- Flexibilidade é a capacidade de uma célula de manufatura absorver mudanças de mix de produto, mantendo a mesma performance operacional do layout funcional anterior à sua implantação. Tal definição justifica-se pelo estudo apresentado para quantificação da flexibilidade no projeto de células de manufatura, onde o autor primeiramente comenta a perda de flexibilidade de mix gerada pelo conceito de células de manufatura. Por conceito, a célula dedica-se apenas à uma família de produtos, conflitando com esta dimensão da flexibilidade. O mesmo selecionou ainda, dois itens de controle para avaliação de performance: estoque em processo e tempo médio de fluxo do produto na célula. A flexibilidade é máxima quando a performance é mantida aos níveis do layout funcional. Não

será utilizado o método de simulação na aplicação, porém o conceito de quantificação proposto pelo autor poderá ser utilizado onde for aplicável, se os dados necessários para tal forem disponibilizados.

A medição das dimensões da flexibilidade na manufatura de forma isolada, representa um grande risco, pois não assegura uma visão efetiva da flexibilidade do sistema. Um conceito unificado de flexibilidade é apresentado por CHOI e KIM (1997). Os autores apresentam o termo flexibilidade abrangente (*comprehensive flexibility*) e definem a mesma como sendo a habilidade do sistema em obter elevada eficiência na manufatura num determinado horizonte de planejamento, mesmo com as alterações criadas pelo ambiente.

Este conceito é a avaliação da flexibilidade de todo o sistema pela sua eficiência, avaliando diferentes condições de ambiente possíveis e, por meio da perda de eficiência global, definir a flexibilidade. A medição sugerida pelos autores é a ineficiência de máquinas e no processamento de produto, por meio de variáveis como o tempo de processamento, tempos de espera, etc. Como já foi colocado, a eficiência poderá ser utilizada devido seu conceito de perda em função da mudança, e assim para os casos onde a literatura não sugere métodos de medição, sua utilização aparenta ser adequada. Fica ainda o fato, de que, podem ser desenvolvidos critérios específicos de medição da flexibilidade para cada ambiente de manufatura avaliado.

Uma vez que, são tratadas várias dimensões da flexibilidade, a tabela 2.7 apresentada por PARKER (1999), ilustra a relação existente entre estas diferentes dimensões. Onde não existem sinais mostrando o tipo de relação, significa que nenhuma relação foi identificada.

	Máquina	Processo	Produto	roteamento	volume	expansão	operação	Produção
Máquina		++	++	++	--		++	++
Processo			++	++	--			
Produto					--			
Roteamento					+-		++	
Volume								
Expansão								
Operação								
Produção								

++ relação positiva; -- relação negativa; +- relação mista

Tabela 2.7 – relação entre os diferentes tipos de flexibilidade (PARKER 1999)

SHEWCHUK (2000) apresenta uma definição para quatro diferentes tipos de flexibilidade. O autor apresenta também uma proposta de equacionamento destas, considerando as perdas de

eficiência do sistema de manufatura. Sua proposta é a utilização do método para o desenvolvimento do projeto do sistema de manufatura baseado na otimização destas flexibilidades:

- Flexibilidade de Produto - É a habilidade do sistema de manufatura atuar com mudanças de produto.
- Flexibilidade de Mix - É a capacidade do sistema de manufatura atuar com mudanças no mix de produtos a serem produzidos.
- Flexibilidade de produção - É a capacidade do sistema em atuar com mudanças no mix de produção, com um determinado mix de produtos.
- Flexibilidade de volume - É a habilidade do sistema em atuar com mudanças no volume de produção.

D'SOUZA (2000) apresenta uma definição genérica de flexibilidade, baseada nas definições encontradas na literatura, como sendo: uma característica multidimensional, e que representa a habilidade da “função manufatura” em implementar os ajustes necessários para reagir às mudanças de ambiente, sem um significativo sacrifício da performance da empresa. Estes ajustes são predominantemente relacionados à mobilidade para responder às mudanças. Esta definição pode ser, a definição mais adequada para a flexibilidade, podendo ainda somar à mesma, o fato de que a flexibilidade é uma característica intrínseca do sistema de manufatura.

A tabela 2.8 apresenta uma definição resumida, dos diferentes tipos ou dimensões da flexibilidade de manufatura, apresentados pelos diferentes autores analisados neste capítulo. Tem como objetivo padronizar a linguagem que será utilizada nos capítulos a seguir.

Já foi observado que a literatura existente sobre flexibilidade na manufatura é direcionada ao ambiente FMS, e por este motivo, é possível justificar o fato de que dentre as dezessete dimensões identificadas, apenas quatro são aplicáveis no ambiente celular.

Primeiramente, a flexibilidade de automação é contrária ao conceito de flexibilidade quando a automação é estudada para um ambiente celular, uma vez que a mesma é especialista em uma família de produtos conhecidos. A flexibilidade de entrega é relevante quando alterações de programa de vendas são feitas com os produtos em processamento num FMS, pois neste ambiente as prioridades podem ser alteradas durante o fluxo de usinagem, ao passo que numa célula, quando o processo já foi iniciado, geralmente o produto é executado até o final. Desta forma, a análise desta dimensão não se justifica no ambiente onde será feita a aplicação, pois apenas 10% do lead time total está dentro do ciclo de usinagem na célula.

A flexibilidade de mercado é tratada de forma muito genérica na bibliografia obtida, esta dimensão está relacionada com toda a cadeia de fornecimento, e não somente com o ambiente de

manufatura. A flexibilidade de modificação não será aplicada de forma detalhada, por tratar-se de células especializadas, as mesmas absorvem qualquer modificação de produto que não o classifique dentro de outra família. No caso de um FMS, as peças já são bastante diversificadas e uma pequena modificação pode impedir sua confecção no mesmo FMS. A mesma analogia pode ser aplicada no caso da flexibilidade de movimentação de materiais, que por tratar-se de uma célula especializada, pelo conceito da TG não se espera variação de materiais que possam impedir sua movimentação pela célula.

Quanto à flexibilidade de operação, as seqüências de processamento foram utilizadas para a definição da célula, não justificando a aplicação deste tipo de flexibilidade no ambiente proposto. A flexibilidade de processo foi substituída pela definição dos produtos similares a serem executados na célula. A mesma analogia cabe para a flexibilidade de produção, produto e projeto. Os conceitos existentes para a formação de células, e os objetivos das mesmas, conflitam com estas dimensões da flexibilidade. Flexibilidade de roteamento, é uma dimensão cuja especialização das máquinas aplicadas no ambiente escolhido, impede seu estudo ou aplicação.

Flexibilidade de Volume fica fora da aplicação, devido seu enfoque econômico. A flexibilidade de programação também não será aplicada, devido sua relação com o sistema de informação utilizado, e que está fora do escopo deste trabalho.

Tipo de Flexibilidade	Dimensões à serem aplicadas	Definição resumida
Automação		A extensão com que a flexibilidade é criada durante os projetos de automação, e de novas tecnologias de manufatura.
Entrega		É a capacidade do sistema de responder às alterações dos requisitos de entrega.
Expansão	X	É a facilidade com que podemos adicionar capacidade ao sistema.
Máquina	X	Variedade de operações ou tipos de produto que a máquina ou equipamento executa, sem gerar grandes perdas ao sistema em função dos tempos de troca requeridos.
Mão de obra	X	É a capacidade da mão de obra executar diferentes atividades no sistema.
Mercado		É a capacidade do sistema de manufatura adaptar-se às mudanças de mercado.
Mix ou Mistura		É a capacidade do sistema absorver grande variedade de produtos
Modificação		É a capacidade do sistema absorver as alterações de projeto ou processo sem gerar grandes perdas ao sistema.
Movimentação de materiais		Capacidade de movimentar diferentes peças pelo sistema.
Operação		A existência de processos e caminhos alternativos para o processamento do produto. Capacidade de absorver diferentes seqüências de processamento.
Processo		A capacidade de produzir uma variedade de peças sem gerar grandes perdas ao sistema.
Produção		A capacidade de produzir novos produtos sem a necessidade de investimento em novos equipamentos.
Produto		A facilidade para adicionar ou substituir produtos no sistema.
Programação		A capacidade de o sistema operar sem interferência ao longo do tempo.
Projeto		A capacidade de introduzir rapidamente novos produtos no sistema.
Roteamento	X	A capacidade de executar a mesma peça com diferentes rotas dentro do sistema.
Reroteamento		A capacidade de absorver alteração de rota devido parada de máquina, ou outra interrupção
Volume		A capacidade de operar de forma lucrativa em diferentes níveis de produção.

Tabela 2.8 – Tipos de flexibilidade e sua definição comum simplificada

2.3 – Definição do conceito de avaliação da flexibilidade a ser utilizado

A proposta consiste na uniformização do conceito de avaliação da flexibilidade possibilitando avaliar os diferentes métodos de quantificação das dimensões da flexibilidade, desde que disponíveis na bibliografia pesquisada. O conceito de avaliação escolhido foi o apresentado por UPTON (1994), devido a sua abrangência de avaliação e por permitir uma avaliação preventiva. É também um conceito, que permite a análise da flexibilidade na manufatura, respeitando o aspecto da sensibilidade à mudança e seus impactos nos indicadores operacionais.

Assim, a bibliografia a ser analisada a partir deste ponto, será avaliada e classificada dentro dos parâmetros de amplitude (RN e RH), mobilidade (M) e uniformidade (U), já apresentados. A distinção temporal da análise a ser desenvolvida, entre operacional, tático ou estratégico, propostas pelo autor, tem por objetivo auxiliar na definição dos indicadores a serem utilizados na avaliação da mobilidade e uniformidade. Neste trabalho, serão utilizados indicadores do nível operacional, portanto, esta classificação temporal passa a ser consequência das dimensões de flexibilidade a serem avaliadas durante a aplicação.

2.4 – A avaliação da flexibilidade sob um conceito unificado

A maioria dos conceitos publicados, referente ao dimensionamento da flexibilidade, foram desenvolvidos com um direcionamento para os sistemas flexíveis de manufatura (FMS). Inicialmente faremos a avaliação dos métodos de dimensionamento da flexibilidade disponíveis na literatura, colocando-os sob o conceito de avaliação definido.

Um dos autores que sugere um dimensionamento das dimensões da flexibilidade, orientado para um FMS, é BROWNE et al (1984). O mesmo sugere as seguintes medições:

- Flexibilidade de roteamento - Pode ser dimensionada pelas perdas geradas por uma quebra numa das estações do FMS.
- Flexibilidade de processo - Pode ser dimensionada pelo número de tipos de peças que podem ser processados simultaneamente pelo FMS.
- Flexibilidade de máquina - Pode ser dimensionada pelos tempos requeridos para troca de tipos de peças.
- Flexibilidade de produto - Pode ser dimensionada pelo tempo de troca de um mix de produção para outro.
- Flexibilidade de volume - Pode ser dimensionada pelo menor volume que pode ser produzido pelo FMS mantendo a lucratividade.

- Flexibilidade de expansão - Pode ser dimensionada de acordo com o tamanho máximo que o FMS pode atingir, sem ser necessariamente duplicado totalmente.

Pode-se observar, que, em nenhuma das formas de dimensionamento propostas, constam os dados de eficiência do sistema. Para algumas dimensões, o dimensionamento é meramente a contagem da variação existente, o que define apenas os parâmetros de amplitude.

O conceito de medição entrópica da flexibilidade é apresentado por KUMAR (1987). Este conceito de medição tem sido utilizado com bastante sucesso, para medição de incerteza em diferentes ambientes como: telecomunicações, finanças e outros. O autor apresenta quatro métodos para a medição entrópica da flexibilidade, entretanto, coloca a restrição de que este método pode ser aplicado desde que tenhamos de forma quantificada, a preferência de escolha das diferentes alternativas a serem utilizadas. O objetivo é permitir a quantificação da flexibilidade entre sistemas conhecidos, para escolha dos mesmos. O método foi desenvolvido para um ambiente “job shop”, permitindo avaliar a flexibilidade pelo número de alternativas existentes no sistema, e a confiabilidade de cada uma delas, envolvendo aspectos de disponibilidade de máquina para as diferentes etapas de execução de um produto ou componente. O método pode ser adaptado para um sistema celular, porém, tratando uma célula como uma máquina em sistemas onde o produto passa por mais de uma célula. Trata da avaliação da dimensão roteamento, sob seu elemento RN. Avalia apenas o número de alternativas, sem conhecer as perdas geradas pelas mesmas.

Para os sete tipos de flexibilidade apresentados por GERWIN (1987), o autor também apresenta uma proposta de quantificação para estes sete tipos de flexibilidade. O autor salienta o fato de que o método proposto não leva em consideração o custo relativo desta flexibilidade, deixando de forma conceitual, o equacionamento incompleto, pois se sabe que flexibilidade implica em ser ágil com a menor perda possível para o sistema. Pode-se, assim, classificar como avaliação da amplitude RN das diferentes dimensões apresentadas.

Assim, tem-se:

- Flexibilidade de Mix (ou de mistura) - Pode ser avaliada pelo número de componentes processados pela máquina ou sistema. Também classificada como flexibilidade de processo por outros autores.
- Flexibilidade de Mudança - Pode ser avaliada pelo número de mudanças de produtos efetuadas num determinado período de tempo.
- Flexibilidade de Modificação - Pode ser avaliada pelo número de mudanças de desenho efetuadas num determinado período de tempo.

- Flexibilidade de roteamento - Pode ser avaliada pelo número de paradas de máquinas que ocorrem num determinado período de tempo e que geraram interrupção de produção.
- Flexibilidade de volume - Pode ser medida pela variação de volume de peças que são executadas numa máquina ou sistema, dividido pela sua capacidade total.
- Flexibilidade de material - Pode ser avaliada pelos diferentes tipos de materiais envolvidos no processo ou etapa do processo.
- Flexibilidade de sequenciamento ou roteamento - Pode ser avaliada pelo diferente número de seqüências possíveis de serem executadas pelo sistema.

SON e PARK (1987) propõem a medição da flexibilidade por meio da perda, ou improdutividade causada pelo recurso sob avaliação. São avaliadas as dimensões: flexibilidade de máquina ou equipamento, flexibilidade de produto, flexibilidade de processo e flexibilidade de demanda. Pode-se considerar a definição de flexibilidade de demanda e de volume, como similares para o ambiente escolhido para a aplicação, pois o mesmo não produz para estoques, e sim contra pedido.

O método apresentado para a quantificação das flexibilidades de demanda, de produto e de processo, é baseado em aspectos de custo. Muito embora não faça parte da aplicação, vale salientar que, por sua simplicidade, é muito recomendado para aplicações práticas. Para flexibilidade de equipamentos, a metodologia também está baseada em custo, mas pode ser adaptada para uma linguagem de eficiência. A proposta do autor é a avaliação do custo das perdas por peça produzida, assim, pode-se utilizar o número total de horas perdidas por peça produzida.

Outros autores, como DIXON (1992), também apresentam medições de flexibilidade apenas verificando o número de mudanças ocorridas no sistema num determinado período, sem que sejam levadas em consideração as perdas geradas pela mudança. Também classificada como amplitude RN. Este indicador permite apenas avaliar ambientes de forma comparativa na sua complexidade e não de modo absoluto sobre sua flexibilidade.

Um outro método para o equacionamento da flexibilidade de máquina, ou conjunto de máquinas, é apresentado por BRILL e MANDELBAUM (1989). Neste, aplica-se uma quantificação baseada no grau de participação da tarefa a ser executada no total de operações do sistema. Sobre o grau de importância, aplica-se uma função baseada na eficiência (ξ) da máquina ou conjunto de máquinas. A flexibilidade é em resumo, a capacidade ou não de executar as operações relevantes para o sistema, e com que eficiência as mesmas são executadas.

Desta forma, admitindo-se que as tarefas ou operações apresentam o mesmo grau de importância para o negócio, a flexibilidade está sendo colocada como o sinônimo da eficiência, e assim, onde aplicável estaria sendo utilizada a eficiência na quantificação de algumas dimensões da

flexibilidade. Trata-se da uniformidade (U) descrita por UPTON (1994). Para um FMS o conceito apresentado auxilia na identificação do melhor sistema a ser adquirido, uma vez que uma mesma máquina executa diferentes operações.

TAYMAZ (1989) propõe um método para análise comparativa de flexibilidade de máquina, para um sistema de manufatura de uma única máquina para execução de um determinado produto ou tarefa. O método baseia-se na comparação das matrizes dos tempos de troca inicial da máquina e as trocas seguintes para as próximas operações, considerando assim o recurso necessário para a troca em questão. A máquina que requer o menor recurso para a troca, é a mais flexível para execução de todas as operações da peça em questão. O método é baseado nas situações onde todas as operações de uma peça, são executadas em uma só máquina, portanto não se aplica ao ambiente escolhido. Mesmo assim, trata-se da avaliação da Uniformidade (U), da dimensão flexibilidade de máquina.

DAS e NAGENDRA (1993), também, apresentam o equacionamento para as flexibilidades de roteamento, mix de produto e máquina. Para as duas primeiras, o método apresentado baseia-se em variáveis específicas de um ambiente FMS, como por exemplo, o enfoque de centro de usinagem ao invés de máquina, frequência de decisão para cada alternativa a ser criada, sendo que estes dados podem ser obtidos do gerenciador do FMS. Não se aplica no ambiente escolhido, onde as células foram configuradas para condição existente no mix de produtos definido. Já para o terceiro caso, a flexibilidade de máquina (FM) poderá ser calculada pelo método proposto, pois permite medir sua flexibilidade independentemente do ambiente onde a mesma está instalada. O equacionamento proposto é apresentado pela equação 2.1, e por basear-se na eficiência, consiste na avaliação da uniformidade durante a execução das diferentes operações. Vale salientar que são utilizados os valores reais de eficiência, dificultando o caráter preventivo da avaliação, e este método resulta na flexibilidade média das máquinas disponíveis na planta ou sistema.

No caso de uma célula, as máquinas são definidas para execução de operações específicas, não importando neste caso o equacionamento da flexibilidade média.

$$FM = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M \sum_{i=1}^N e_{i,j}$$

(2.1)

onde:

$i = 1$ até N (números de diferentes operações executadas pelo sistema);

$j = 1$ até M (números de máquinas envolvidas);

$e_{i,j}$ = Eficiência com que a máquina j executa a operação i , sendo que, 1 é a eficiência da melhor máquina para a operação, e o restante uma porcentagem desta.

O resultado será de zero à N (número de diferentes operações do sistema), e assim, quando o resultado for igual N , tem-se a flexibilidade máxima possível (100% flexível). Pode-se então a partir deste resultado, transformá-lo em porcentagem por meio de uma regra de três simples, facilitando a comparação com outros sistemas avaliados, ou outros itens de avaliação cujos resultados variam de zero à um. No exemplo apresentado pelo autor chegou-se à uma flexibilidade de máquina igual à 3,8 para seis diferentes operações. Assim, N é igual a seis, significando uma flexibilidade percentual de 63%.

MANDELBAUM (1989) sugere que, no dimensionamento da flexibilidade de máquina o fator de eficiência pode ser somado à fatores de qualidade, custo total de produção, confiabilidade ou ainda custos de manutenção. Estas variáveis poderiam estar conjugadas em uma única, que leva em consideração o custo total da operação em cada máquina, e também o capital investido. Tal método avalia a uniformidade e não será aplicado, devido seu enfoque econômico e alguns fatores de qualidade, como refugo, que já estarão contemplados nos valores de eficiência.

O método comparativo para avaliação de mobilidade, baseado no tempo, apresentado por UPTON (1995-2), consiste na medição das variáveis que afetam alguns tipos de flexibilidade na indústria de papel fino, e após esta avaliação buscou identificar a correlação entre estas variáveis. Não se trata de uma forma de equacionamento da flexibilidade, mas sim uma análise crítica quanto ao uso adequado de cada recurso que possui o potencial de permitir uma melhor mobilidade. O resultado do seu estudo evidenciou, por exemplo, que as empresas que possuíam o maior grau de automação não eram as que mudavam sua produção com menores perdas. Este método somente pode ser utilizado numa aplicação específica e num ambiente escolhido para comparação de empresas produzindo o mesmo produto.

Mesmo sendo inviável a aplicação do método de forma completa, pode-se extrair do referido trabalho as variáveis utilizadas para quantificar a mobilidade comparativa entre plantas, conforme segue:

- Tempo necessário para troca de tipo, quanto menor este tempo, maior é a mobilidade. Deve-se levar em consideração que no caso da indústria de papel a troca pode ser vista como mobilidade, mas quando esta troca ocorre em intervalos muito pequenos de tempo, a mesma faz parte do ambiente atual e assim seus impactos devem ser medidos dentro da uniformidade, pois a mobilidade é uma característica a ser avaliada, na troca para um novo ambiente de manufatura.

- Relação entre eficiência e números de tipos produzidos. A flexibilidade é maior quando produzimos mais tipos sem perda na eficiência. É a análise de uniformidade.
- Números de paradas por manutenção. Quanto menor, maior é a flexibilidade por diminuir a incerteza. Neste caso, trata-se de uma avaliação específica percentual, sem considerar os respectivos custos da interferência de manutenção, que por aspectos econômicos podem afetar a flexibilidade no campo decisório. Sugere-se que o rigor da flexibilidade, relativo as interrupções para manutenção, seja colocado apenas nas restrições do sistema de manufatura, que tem sua capacidade produtiva restringida, e sua flexibilidade de volume deve ser avaliada já com esta perda. No campo decisório, o maior investimento em manutenção para aumentar a capacidade produtiva do sistema é uma questão econômica.

Apesar de não ser o objetivo deste trabalho estudar a gestão da flexibilidade entre plantas, a gestão da flexibilidade focada no seu resultado potencial para o negócio pode ser estudada por intermédio de JORDAN e GRAVES (1995), onde os autores equacionam diferentes níveis de flexibilidade de processo entre as plantas, para a fabricação de diferentes modelos de automóveis. É feita uma correlação com o potencial números de veículos vendidos para os diferentes níveis de flexibilidade, onde a flexibilidade é quantificada pelo número de alternativas, possíveis entre plantas e modelos. Nesse trabalho, os autores demonstram também, a relação entre flexibilidade e capacidade total de produção das plantas. Vale ainda salientar que, os mesmos tratam a flexibilidade como sendo a capacidade técnica de se produzir mais de um tipo de automóvel numa mesma planta, sem levar em consideração a eficiência ou outro parâmetro de avaliação de perda; neste caso o tratamento está incompleto como flexibilidade, devendo ser tratado apenas como a capacidade de se produzir maior números de modelos numa determinada planta ou sua amplitude (RN) típica.

CHRYSSOLOURIS e LEE (1992) definem que flexibilidade pode ser quantificada pela medição da sensibilidade à mudanças no sistema. Quanto menor a sensibilidade maior é a flexibilidade do sistema. Baseado no fato de que ter flexibilidade para uma mudança cuja probabilidade de ocorrência não é conhecida é algo que não deve ser considerado no processo de decisão, a sensibilidade à mudança (STC) pode ser definida conforme equação 2.2.

$$STC = Pn_i Pr_i$$

(2.2)

Onde:

Pn_i = Perda gerada pela mudança i ;

Pr_i = Probabilidade de ocorrência da mudança i ;

Os autores sugerem que este conceito seja aplicado para avaliação da flexibilidade de produto e flexibilidade operacional, já definidas neste trabalho pelos mesmos. Neste ponto, vale salientar que, ao contrário do que definem os mesmos, a probabilidade de ocorrência de uma determinada mudança no sistema não pode ser encarada como um fator para a quantificação da flexibilidade. Se a flexibilidade for avaliada somente no ambiente da manufatura, a sua probabilidade de ocorrência somente define seu valor para o negócio, e a viabilidade de investimento para o aumento deste determinado tipo de flexibilidade.

Matematicamente, o equacionamento da STC é apresentado para dois ambientes distintos: O primeiro, assume que a perda e a probabilidade são função de uma variável discreta X , que representa uma potencial mudança. O número de variáveis discretas X_i é o número de possíveis combinações entre as variáveis de mudança.

Neste contexto a STC pode ser medida pela equação 2.3.

$$STC = \sum_{i=1}^n Pn(X_i) Pr(X_i)$$

(2.3)

onde:

n = O número de mudanças potenciais;

i = É o índice da referida mudança de estado;

X_i = A potencial mudança de estado i ;

$Pn(X_i)$ = A perda gerada pela potencial mudança de estado i ;

$Pr(X_i)$ = A probabilidade de ocorrência da potencial mudança de estado i ;

O segundo, assume que na maioria dos casos o sistema de manufatura possui uma contínua variação de estados, ou em outras palavras, é impactuado por contínuas mudanças internas ou externas. Assim, o número de mudanças possíveis é ilimitado e a variável X deve ser considerada como contínua.

Neste caso o equacionamento matemático é representado pela equação 2.4.

$$STC = \int_{X_1}^{X_2} Pn(X_i) Pr(X_i) dX$$

(2.4)

sendo:

 X_1 = O menor valor da variável (potencial de mudança) X ; X_2 = O maior valor da variável (potencial de mudança) X ; $Pn(X_i)$ = Distribuição da perda da mudança potencial; $Pr(X_i)$ = A função de densidade de probabilidade da potencial mudança;

O método pode ser visto como um processo de decisão de atributo sob incertezas, ou sob diferentes estados de possíveis futuros cenários. O fator crítico do cálculo é a estimativa de perdas e das probabilidades de futuros cenários. Neste contexto, avalia-se a uniformidade (U) por meio da eficiência, e agregando uma quantificação de valor, o que é extremamente importante na alocação de recursos. Uma vez que este trabalho não inclui a análise do valor da flexibilidade, não será utilizado este método na aplicação no ambiente escolhido.

A penalidade conseqüente de mudanças de ambiente, pode ser quantificada também pela perda de capacidade produtiva do sistema. Este método de equacionamento da flexibilidade é apresentado por BOYER e LEONG (1996) para avaliação da flexibilidade de máquina, transformando o tempo de troca em tempo de capacidade não aproveitada. No mesmo artigo, os autores provam a existência de correlação linear entre a flexibilidade de máquina e de processo, para tempos de troca de até 60% da capacidade produtiva. Os autores consideram a flexibilidade de processo como sendo a habilidade de uma planta produzir uma variedade de produtos sem grandes perdas, e afirmam que a flexibilidade de máquina é necessária, para que a planta possa absorver as flutuações de demanda sem sensível alteração de custo, pois, permitiriam uma redução no tamanho dos lotes de produção e evitariam um aumento dos estoques; de outra maneira, quando a demanda é reduzida, o custo fixo torna o negócio menos competitivo. Pode-se classificar o método proposto como sendo a análise da mobilidade (M), quando as trocas forem de médio e longo prazo, ou uniformidade (U) quando as trocas fazem parte do ambiente rotineiro da manufatura.

O STC também é utilizado por BATEMAN et al. (1999), para a medição da flexibilidade de mix no nível de máquina e sistema. A aplicação deste conceito tem por objetivo avaliar, comparativamente, dois ou mais sistemas de manufatura.

Na literatura mais recente, tem-se com maior freqüência a utilização da probabilidade de ocorrência do evento no dimensionamento da flexibilidade, aplicando de forma implícita o conceito

da STC. Este conceito acaba sendo de grande valor para a tomada de decisão, uma vez que aplica um certo conceito de valor atrelado à probabilidade de ocorrência.

O equacionamento da flexibilidade é na maioria das vezes, desenvolvido de forma específica de acordo com cada aplicação e interpretação, SHEWCHUK (1999) apresenta um conceito de medição genérica da flexibilidade permitindo que, na prática, a medição possa ser derivada desta proposta de acordo com cada necessidade. O método, também, consiste na especificação da probabilidade de ocorrência da mudança e vincula a mudança a um benefício gerado com a escolha da mesma. Pode-se considerar para uma aplicação, sem abordagem financeira, a própria eficiência resultante, como o respectivo benefício. Tal equacionamento refere-se à uniformidade (U).

Do método matemático genérico, o autor detalha e propõe quatro métodos específicos para a medição de flexibilidade de produto, de volume, de roteamento e de programação. Para melhor avaliação do método, utilizar-se-a a medição da flexibilidade de produto (PF) conforme equação 2.5.

$$PF = \frac{\sum_{i=1}^N w_i x_i P_i}{\sum_{i=1}^N P_i w_i}$$

(2.5)

onde :

P_i = Probabilidade do produto i ser escolhido para produção;

x_i = 1 se o sistema é apto para execução do mesmo produto i , e 0 em situação contrária;

w_i = é o benefício gerado pelo produto i ;

Assim, o método apresentado baseia-se apenas no benefício gerado e a possibilidade ou não de execução do produto pelo sistema.

PARKER (1999) apresenta um equacionamento matemático, para dois diferentes tipos de flexibilidade muito pouco abordados pela literatura. O primeiro deles é a flexibilidade de volume (VF), que pode ser obtida por meio de baixo custo fixo, elevado preço de venda do produto ou ainda grande capacidade de produção. A medição proposta é apresentada pela equação 2.6.

$$VF = \frac{C_{máx} - aN_b}{C_{máx}}$$

(2.6)

sendo:

$C_{máx}$ = capacidade produtiva em horas;

a = número de horas por peça a ser produzida;

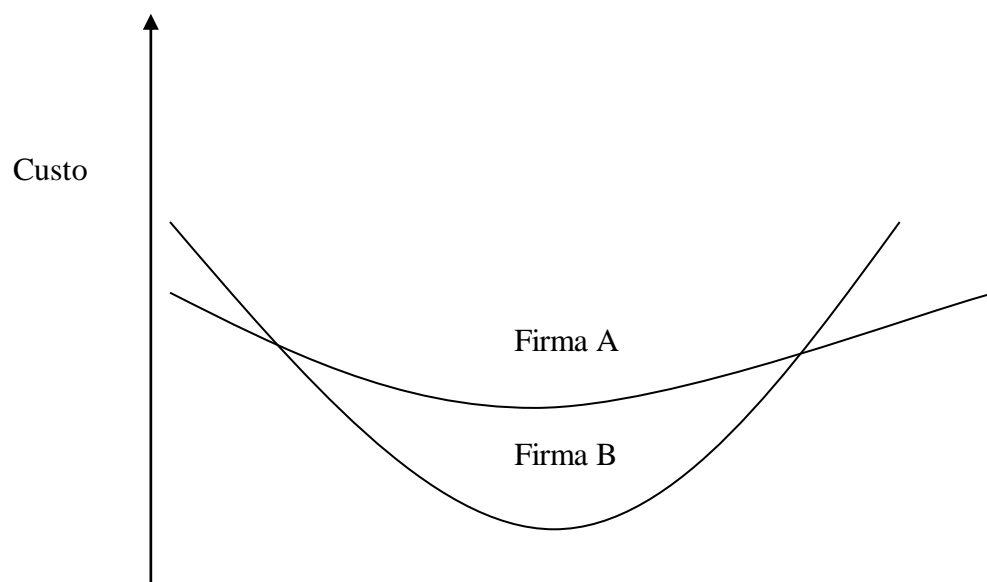
N_b = número de peças produzidas para atingir o ponto de equilíbrio;

Neste enfoque, a flexibilidade de volume seria representada por um valor entre zero e um, e podendo ser também expresso em porcentagem. O fator um, de máxima flexibilidade, seria obtido se a multiplicação entre tempo de processamento e volume para atingir o ponto de equilíbrio fosse zero. Tal resultado só seria possível se o negócio atingisse o ponto de equilíbrio, com volume de produção tendendo à zero. Este método não será utilizado devido se enfoque econômico.

O segundo tipo trata-se da flexibilidade de expansão (EF). Neste caso o autor coloca a definição contra a comparação do retorno financeiro do investimento para aumento da capacidade, sendo este feito entre as alternativas de sistemas flexíveis para este respectivo aumento.

A flexibilidade de volume também é apresentada por KOSTE e MALHOTRA (1999), que ilustram um exemplo comparativo na figura 2.8. A conclusão é que a empresa A é mais flexível que a empresa B. Vale observar que em determinadas situações a empresa B tem menor custo que A, e é menos flexível. É uma avaliação da uniformidade (U) sob variação de volume, onde o indicador utilizado é o custo.

Os autores também apresentam uma proposta de hierarquia entre os diferentes elementos da flexibilidade, ilustrada na figura 2.9. Esta figura auxilia na compreensão da interação entre os diferentes tipos de flexibilidade, mostrando que uma dimensão em um nível, é desmembrada em outras dimensões num nível imediatamente inferior. Sugerem a utilização do tempo de máquina parada devido a falta de operador, como forma de medição da flexibilidade da mão de obra direta (MOD).



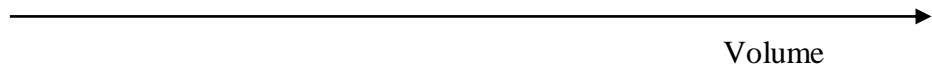


Figura 2.8 – Relação entre custo e volume
(KOSTE e MALHOTRA 1999)

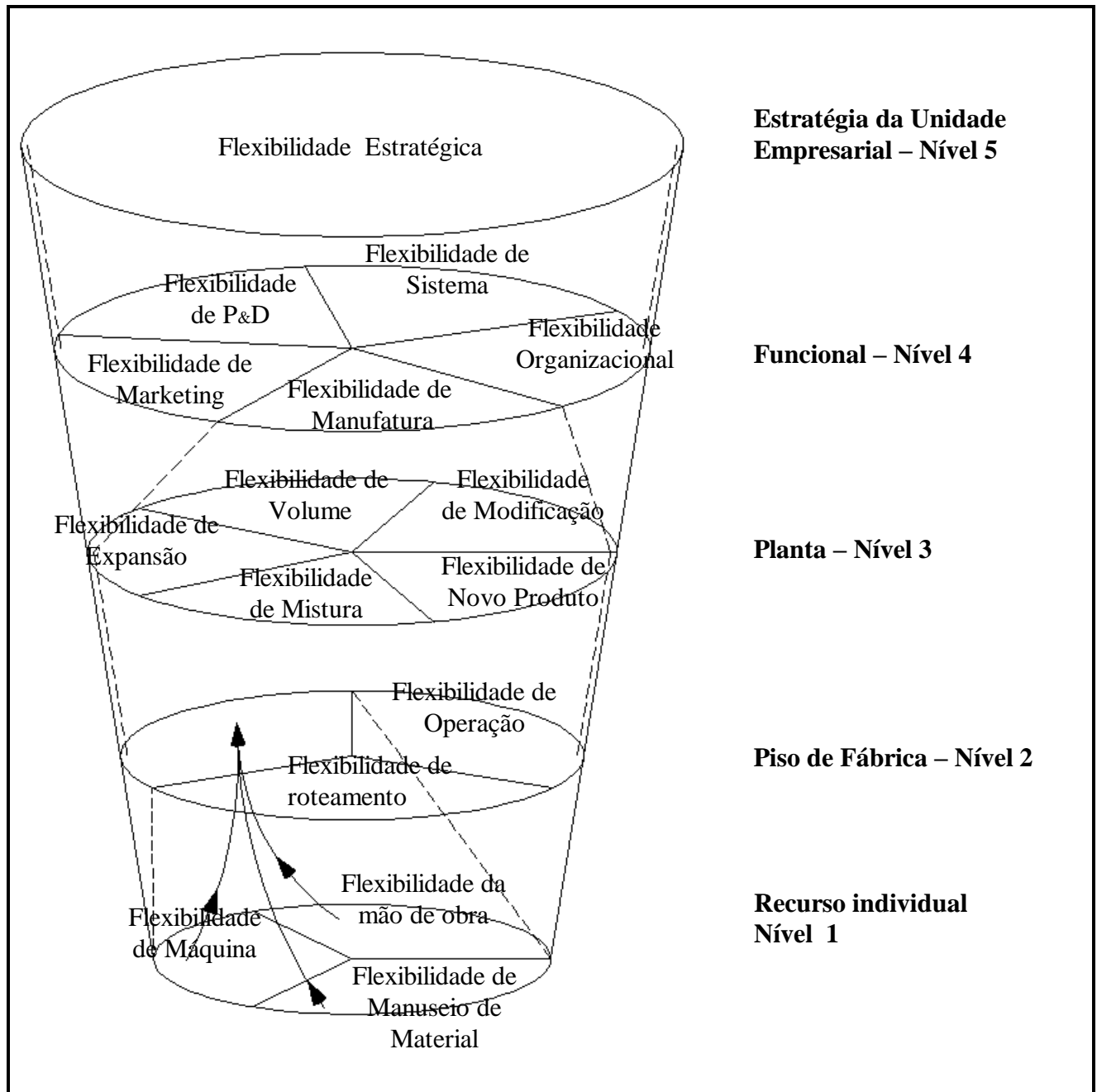


Figura 2.9 – Hierarquia entre as dimensões da flexibilidade
(KOSTE e MALHOTRA 1999)

SHEWCHUK (2000) apresenta um método de medição baseado na análise de alternativas possíveis de serem atendidas por um sistema, em relação às alternativas que são exigidas do mesmo sistema pelo ambiente externo. O autor não inclui análise de mobilidade ou uniformidade, assim,

caracteriza-se seu critério de medição como uma comparação da amplitude possível e a desejada do sistema. O mesmo apresenta uma metodologia de avaliação para quatro tipos de flexibilidade:

- Flexibilidade de Produto
- Flexibilidade de mix
- Flexibilidade de Produção
- Flexibilidade de Volume

Para a flexibilidade de produto, a mesma é avaliada pela equação 2.7.

$$F_{\text{prod}} = \frac{\|P'\|}{\|P\|}$$

(2.7)

onde:

P = números de produtos a serem potencialmente produzidos pelo sistema;

P' = números de produtos possíveis de serem produzidos no sistema estudado;

O resultado varia de zero a um, e a máxima flexibilidade é obtida quando o sistema é capaz de executar todos os diferentes produtos que venham a ser exigidos do sistema estudado. É uma avaliação da amplitude (RN) máxima. O exemplo apresentado pelo autor destina-se apenas à cinco produtos diferentes divididos em dois subsistemas.

Para a flexibilidade de mix, a mesma é avaliada pela equação 2.8.

$$F_{\text{mix}} = \frac{\sum_{k=1}^{N_{PN}} f_{\text{MIX}_k}}{\sum_{k=1}^{N_{PN}} b_k}$$

(2.8)

Na equação 2.8 o termo f_{MIX_k} é definido pela equação 2.9.

$$f_{\text{MIX}_k} = \left(\frac{\sum_{j=1}^{N_{PD}} a_{jk} (\lambda_{jk}^* - d_k / m_k)^2}{m_k} \right)^{1/2}$$

(2.9)

Na equação 2.9 os termos d_k e m_k são definidos na equação 2.10.

$$d_k = \sum_{j=1}^{N_{PD}} \lambda_{jk}^* , \quad m_k = \sum_{j=1}^{N_{PD}} a_{jk} \quad (2.10)$$

onde:

N_{PN} = números total de diferentes mixes de produção possíveis com o subgrupo de produtos P' ;

N_{PD} = números total de diferentes mixes de produto possíveis com o subgrupo de produtos P' ;

b_k = será 1 (um) se m_k for maior que 1 (um), caso contrário será 0 (zero);

a_{jk} = será 1 (um) quando a combinação entre mix de produto j e mix de produção k for exequível com a capacidade de produção instalada. Caso contrário será zero;

λ_{jk}^* = Capacidade máxima de produção com um mix de produto j e um mix de produção k ;

λ_{jk}^* = considera-se neste caso a capacidade máxima como P' ;

O valor do resultado varia de acordo com o ambiente à ser estudado, sendo aplicado para avaliação comparativa entre diferentes alternativas de mix de produção. É também uma análise de amplitude RN. Busca-se identificar se a capacidade produtiva instalada atende todos os possíveis arranjos de tipos de produto, que podem ser solicitados ao sistema. No caso de células de manufatura, a família de produto é definida e avalia-se somente a capacidade em relação à demanda.

Para a flexibilidade de produção, a mesma é avaliada pela equação 2.11.

$$F_{PDN} = \frac{\sum_{j=1}^{N_{PD}} f_{PDNj}}{\sum_{j=1}^{N_{PD}} c_j} , \quad (2.11)$$

O fator f_{PDNj} é definido pela equação 2.12.

$$f_{\text{PDN}_j} = \left(\frac{\sum_{k=1}^{N_{PN}} a_{jk} (\lambda_{jk}^* - e_j / n_j)^2}{n_j} \right)^{1/2}$$

(2.12)

Os fatores e_j e n_j são definidos na equação 2.13.

$$e_j = \sum_{k=1}^{N_{PN}} \lambda_{jk}^*, \quad n_j = \sum_{k=1}^{N_{PN}} a_{jk} \tag{2.13}$$

onde:

$C_j =$ será 1 (um) quando n_j for maior que 1 (um), caso contrário será 0 (zero).

Busca-se avaliar os impactos gerados no sistema pela mudança no mix de produtos a serem processados, e neste caso avalia-se as perdas de capacidade produtiva. Pode-se considerar como sendo uma avaliação indireta da eficiência do sistema sob alteração de mix.

Para a flexibilidade de volume, a mesma é avaliada pela equação 2.14.

$$F_{\text{VOL}} = \frac{\sum_{j=1}^{N_{PD}} \sum_{k=1}^{N_{PN}} \lambda_{jk}^*}{\sum_{j=1}^{N_{PD}} \sum_{k=1}^{N_{PN}} a_{jk}}$$

(2.14)

É uma simples comparação entre a capacidade disponível com o mix de produtos definidos, e o volume de produção exigido com este mesmo mix. O método não contempla outros fatores, como por o tempo necessário para aumentar a capacidade produtiva, para que a capacidade disponível pudesse ser comparada, e ai sim, concluir se existe, ou não, a flexibilidade que o ambiente externo exige.

2.5 – Conclusão

Apesar de encontrar na literatura mais de cinquenta dimensões de flexibilidade, foi mantido o foco em 17 dimensões já apresentadas em sua forma resumida. Não foram identificados na literatura os métodos de avaliação para todas as 17 dimensões, parâmetros RN, RH, M e U, conforme indicado na tabela 2.9, mas pode-se expandir alguns dos métodos obtidos para a avaliação de outras dimensões de flexibilidade.

Dimensões	Autores identificados			
Dimensões	RN	RH	M	U
Expansão	Browne (1984) Koste e Malhotra (1999)		Koste e Malhotra (1999) Upton (1995-2)	Koste e Malhotra (1999)
Máquina	Browne (1984) Koste e Malhotra (1999)		Koste e Malhotra (1999) Upton (1995-2)	Brill e Mandelbaum (1989) Das e Nagendra (1993)
Movimentação de materiais	Gerwin (1987) Koste e Malhotra (1999)	RH deverá ser medido de acordo com o tipo de sistema à ser estudado	Koste e Malhotra (1999) Upton (1995-2)	Koste e Malhotra (1999)
Mão de obra	Gerwin (1987) Koste e Malhotra (1999)		Koste e Malhotra (1999) Upton (1995-2)	Koste e Malhotra (1999)
Modificação	Gerwin (1987) Dixon (1992) Koste e Malhotra (1999)		Koste e Malhotra (1999) Upton (1995-2)	Koste e Malhotra (1999)
Operação	Gerwin (1987) Dixon (1992) Koste e Malhotra (1999)		Koste e Malhotra (1999) Upton (1995-2)	Chryssolouris e Lee (1992) Koste e Malhotra (1999)
Processo	Gerwin (1987) Dixon (1992) Browne (1984) Koste e Malhotra (1999)		Koste e Malhotra (1999) Upton (1995-2)	Koste e Malhotra (1999)
Produção	Gerwin (1987) Dixon (1992) Koste e Malhotra (1999)		Koste e Malhotra (1999) Upton (1995-2)	Koste e Malhotra (1999)

Produto	Gerwin (1987) Dixon (1992) Shewchuk (2000) Koste e Malhotra (1999)		Koste e Malhotra (1999) Upton (1995-2)	Chrysolouris e Lee (1992) Koste e Malhotra (1999)
Roteamento	Kumar (1987) Gerwin (1987) Koste e Malhotra (1999)		Koste e Malhotra (1999) Upton (1995-2)	Koste e Malhotra (1999)
Volume	Gerwin (1987) Shewchuk (2000) Dixon (1992) Koste e Malhotra (1999)		Koste e Malhotra (1999) Upton (1995-2)	Koste e Malhotra (1999)

Tabela 2.9 – A distribuição dos autores identificados, que contribuiram nos conceitos de UPTON (1994)

Conforme o objetivo definido, foi possível alinhar as diferentes definições e métodos de dimensionamento da flexibilidade com o conceito de avaliação apresentado por UPTON (1994), tornando assim mais simples a compreensão destas dimensões e seus elementos, que muitas vezes eram conflitantes de acordo com a bibliografia disponível.

Baseado nesta afirmação, é que será desenvolvida no capítulo quatro, uma aplicação prática dos conceitos aqui expostos; dando assim uma orientação, para que, caso o monitoramento da flexibilidade seja implantado como um item de controle gerencial, fique aqui estabelecida uma metodologia para sua medição.

Capítulo 3

Organização do Estudo de Caso

3.1 – Introdução

Neste capítulo, busca-se estruturar o equacionamento das dimensões da flexibilidade a serem avaliadas. Uma vez que o dimensionamento, de acordo com o conceito de avaliação baseado em UPTON (1994), não está disponível na literatura pesquisada, o estudo de caso será feito baseado na proposta de dimensionamento descrita neste capítulo.

Será apresentada também, uma caracterização do ambiente de aplicação, para uma melhor compreensão dos métodos e fatores que serão utilizados.

3.2 – Caracterização do ambiente escolhido para o estudo de caso



Foto 3.1 - Fachada principal da empresa Mahle Cofap Anéis

O estudo de caso será desenvolvido na Mahle Cofap Anéis, uma indústria fabricante de componentes automotivos, situada em Itajubá, no estado de Minas Gerais, fornecedora de 90% da demanda do mercado nacional em equipamento original (utilizadas pelas montadoras de automóveis), e 75% da demanda para reposição (lojas de auto peças). É também fornecedora do mercado externo, onde detém grande participação no mercado europeu em equipamento original e mercado de reposição em todos os continentes.

Em seu processo produtivo incluem-se estampagem, fundição, processos químicos diversos, tratamento térmico em aço e ferro fundido sendo que a maior parte de seu processo consiste em usinagem. A unidade operacional em questão está instalada em um terreno de 260 mil metros quadrados com 46 mil metros quadrados de área construída (conforme ilustrado no anexo um) possuindo arranjo físico predominantemente na forma celular.

Existem duas tecnologias principais, sendo uma delas a de componentes em ferro fundido usinado e outra de produtos em aço conformado à frio. No primeiro caso, o processo é dividido em três plantas diferentes. A primeira planta é responsável pelo processo de fundição dos componentes, a segunda pela preparação de “blanks” para usinagem, e a terceira por todo o processo de usinagem dos componentes e seus respectivos revestimentos. No outro caso, os produtos são conformados e acabados numa única planta. A unidade é administrada sob o conceito de minifábricas.

Este estudo estará focado nos produtos em ferro fundido, durante o seu processo de usinagem final e nos produtos em aço conformado à frio, devido a sua maior complexidade de processamento no que tange ao maior número de operações e fluxo mais complexo. O anexo dois ilustra o arranjo físico da planta de usinagem dos “blanks” de ferro fundido. Para a análise de cada uma das minifábricas existentes, será definido o título das mesmas como sendo planta um até planta sete, com o objetivo de proteger dados estratégicos da empresa. A figura 3.1 apresenta uma ilustração do arranjo físico das plantas dedicadas à fabricação dos produtos tipo um e tipo dois em ferro fundido, que passam a ser chamadas de planta um e planta dois.

Para os produtos em aço conformados à frio, a figura 3.2 apresenta o arranjo físico da planta destinada à fabricação dos produtos tipo seis, que passa a ser chamada de planta seis. Na figura 3.3, temos a planta destinada à produção dos produtos tipo sete, também em aço, e que passa a ser chamada de planta sete.

A figura 3.4 apresenta o arranjo físico das plantas destinadas à fabricação dos produtos tipo três, quatro e cinco. Estas plantas passam a ser chamadas de plantas três, quatro e cinco para ferro fundido. As áreas de processos químicos e galvânicos não serão estudadas, e foram excluídas da ilustração. Os dados a serem utilizados foram submetidos a fatores de multiplicação, assegurando desta forma o sigilo sobre os reais valores relacionados a performance da planta.

Relacionando-se os fatores externos, conforme sugerido por NEWMAN (1993), a empresa possui uma carteira composta por aproximadamente 450 clientes que colocam seus pedidos com um prazo de entrega variando de 25 a 150 dias, e em 40% dos casos com programa de fornecimento definido por um período de 120 dias, com possibilidade de modificação para maior ou menor quantidade de acordo com a necessidade.

A frequência de entrega é feita de forma semanal na maior parte dos pedidos, para o mercado de equipamento original (montadoras), e diária em alguns casos. Além disto, existem freqüentes alterações com pedidos urgentes em prazos bastante reduzidos, devido às reprogramações das linhas de montagem do cliente. As entregas antecipadas são aceitas apenas por poucos clientes, uma vez que na maioria, o rigoroso controle de estoques impede entregas antecipadas, causando aumento no próprio estoque do fabricante quando o lote é encerrado antes do prazo determinado pelo cliente.

A manufatura atua sob uma variedade de 11.000 diferentes produtos (itens ativos), sendo que dentro de um mesmo mês produz-se uma variedade de aproximadamente 1600 itens, distribuídos em 2000 lotes de produção. Estes mesmos lotes são produzidos em quantidades que variam de 200 a 20.000 peças, excluindo-se os lotes de amostras, que são bem menores e não serão discutidos neste trabalho, devido seu caráter experimental, exigindo soluções diferenciadas para o seu processamento.

A obtenção de contratos de fornecimento de longo prazo tem se mostrado cada vez mais difícil no ambiente automobilístico, sem mesmo contemplar qualquer exclusividade de fornecimento, uma vez que este tipo de contrato conflita com a política de fornecedores globais adotada pelas montadoras. Tal fato aumenta a incerteza, principalmente pela questão inflacionaria e variações cambiais elevadas ainda existentes em na economia brasileira.

Uma parte dos insumos utilizados são importados, obrigando a manutenção de elevados estoques em função de seus prazos de entrega, e poucos fornecedores existentes para estes itens. Tais características definem um ambiente externo de elevada incerteza.

Quanto ao ambiente interno, será feita uma avaliação de acordo com as dimensões da flexibilidade a serem avaliadas. Nesta etapa, serão comentadas apenas algumas características gerais como o fato da manufatura estar atuando sob um sistema ERP da IBM-COPICS e migrando para o SAP – R3. O foco competitivo deste negócio baseia-se em tecnologia e custos competitivos, sendo obviamente atendidos os aspectos de qualidade do produto e da entrega.

Segundo diversas pesquisas, o foco principal da administração estratégica no mercado americano e europeu é a redução de custo, enquanto no Japão o enfoque está na qualidade e flexibilidade para diferentes produtos. Pode-se afirmar que, as questões relacionadas à incerteza estão entre os principais desafios do ambiente à ser estudado, seja pelo aspecto do ambiente externo

em que está inserido ou, ainda, pelas prioridades estratégicas de uma empresa que tenta se consolidar como um fornecedor mundial ligada à uma empresa controladora na Europa.

Desde o início do ano de 2001, tem sido observado neste negócio, um aumento no nível de variabilidade no sistema. Este aumento da variabilidade vem também acarretando, uma perda na eficiência do sistema de manufatura, trazendo à tona a discussão sobre a flexibilidade do sistema de manufatura. A partir dessa constatação, esta questão passou a fazer parte da rotina da equipe gerencial, que passou a buscar o aprimoramento sobre os conceitos relacionados à flexibilidade e sobre as questões que poderiam estar envolvidas numa retomada da performance, sob esta condição de maior variabilidade. O aumento da variabilidade foi evidenciado, pela diminuição do tamanho dos lotes produzidos, conforme anexo 16.

Planta 1

Planta 2



Figura 3.1 – Layout das plantas um e dois.

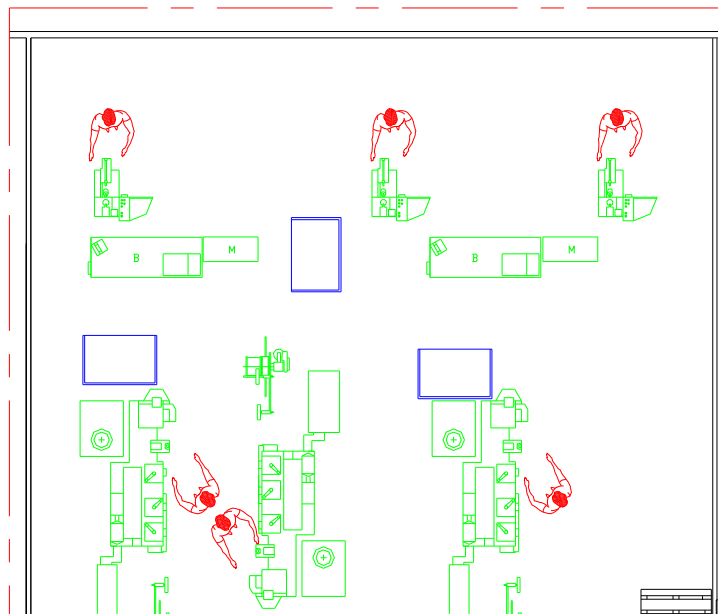


Figura 3.2 – Layout da planta seis

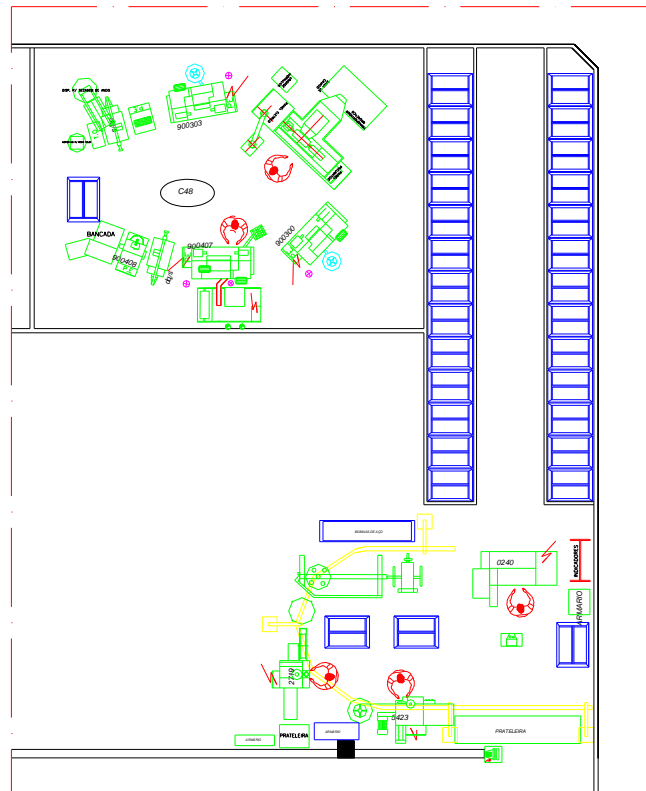


Figura 3.3 – Layout da planta sete

processo. Projetos para aumento de flexibilidade devem ser sensíveis ao cliente, para que sua viabilidade econômica seja atingida. Para que alguma análise comparativa seja possível neste trabalho, tem-se por objetivo apresentar os resultados separadamente por planta, permitindo uma análise comparativa entre as mesmas.

Já foi comentado o fato da definição do alcance no tempo sugerido por UPTON (1994) (as questões táticas, operacionais ou estratégicas) serem uma consequência das dimensões da flexibilidade e do enfoque de avaliação. A limitação colocada para a abrangência deste trabalho exclui a necessidade da análise deste parâmetro, pois estará sendo focado apenas nos níveis de curto prazo, diretamente na manufatura.

Dentre os parâmetros de avaliação para cada dimensão da flexibilidade, está o parâmetro mobilidade (M). Este parâmetro representa a capacidade do sistema se adaptar à um novo ambiente imposto por novas condições externas, ou seja, não se trata de uma mobilidade na mudança de um lote de produção para outro, e sim macro mudanças de ambiente que exigem uma reorganização do sistema. Com o objetivo de avaliar-se a mobilidade (M) nas dimensões a serem estudadas no próximo capítulo, é necessário estabelecer quais seriam as mudanças macro do ambiente externo que este negócio pode potencialmente ser submetido, e neste ponto, deve-se incluir uma visão não somente de curto prazo, mas também de médio prazo. O estabelecimento desta visão, para o ambiente de aplicação, foi feito por meio de uma entrevista com o corpo gerencial da empresa. Os mesmos caracterizaram dois principais pontos de atenção.

O primeiro, o desenvolvimento de projetos para o mercado americano, objetivando o fornecimento de equipamento original para as principais montadoras. O impacto desta mudança para o ambiente de manufatura consiste no fato do volume de fornecimento envolvido, pois atualmente o item de maior demanda mensal representa um dia de trabalho de uma célula, e para este novo mercado alguns itens demandam 20 dias de trabalho em uma célula, para o fornecimento mensal. O atual fornecedor para estes itens, neste mercado, utiliza conceitos de linhas dedicadas.

O segundo, um esforço de marketing muito forte para uma maior penetração no mercado de reposição na Europa e Estados Unidos. A empresa não tem fornecimento significativo nestes mercados, devido antigos contratos de tecnologia com empresas que já fornecem para este mesmo mercado. Com o término destes contratos, iniciaram-se as campanhas de marketing, que certamente aumentará a participação de pequenos lotes no ambiente de manufatura.

De forma resumida, estes dois aspectos implicam em uma melhor caracterização do ambiente de manufatura, não somente para pequenos lotes de fabricação, mas também para elevados volumes e necessidade de aumento da capacidade produtiva. De acordo com cada dimensão, a mobilidade (M), a uniformidade (U) e as amplitudes (RN e RH), serão avaliadas com base nesta mudança potencial.

3.3.1 – Flexibilidade de Expansão (EF)

Na figura 3.5, tem-se a apresentação desta dimensão esquematicamente colocada sobre o conceito padrão (fig. 2.7). Pode-se observar que a mudança de ambiente é o aumento da capacidade produtiva em função de uma maior demanda potencial. A amplitude RN e RH têm como função neste processo de avaliação, o estabelecimento da complexidade do ambiente para conclusões comparativas à outros sistemas.

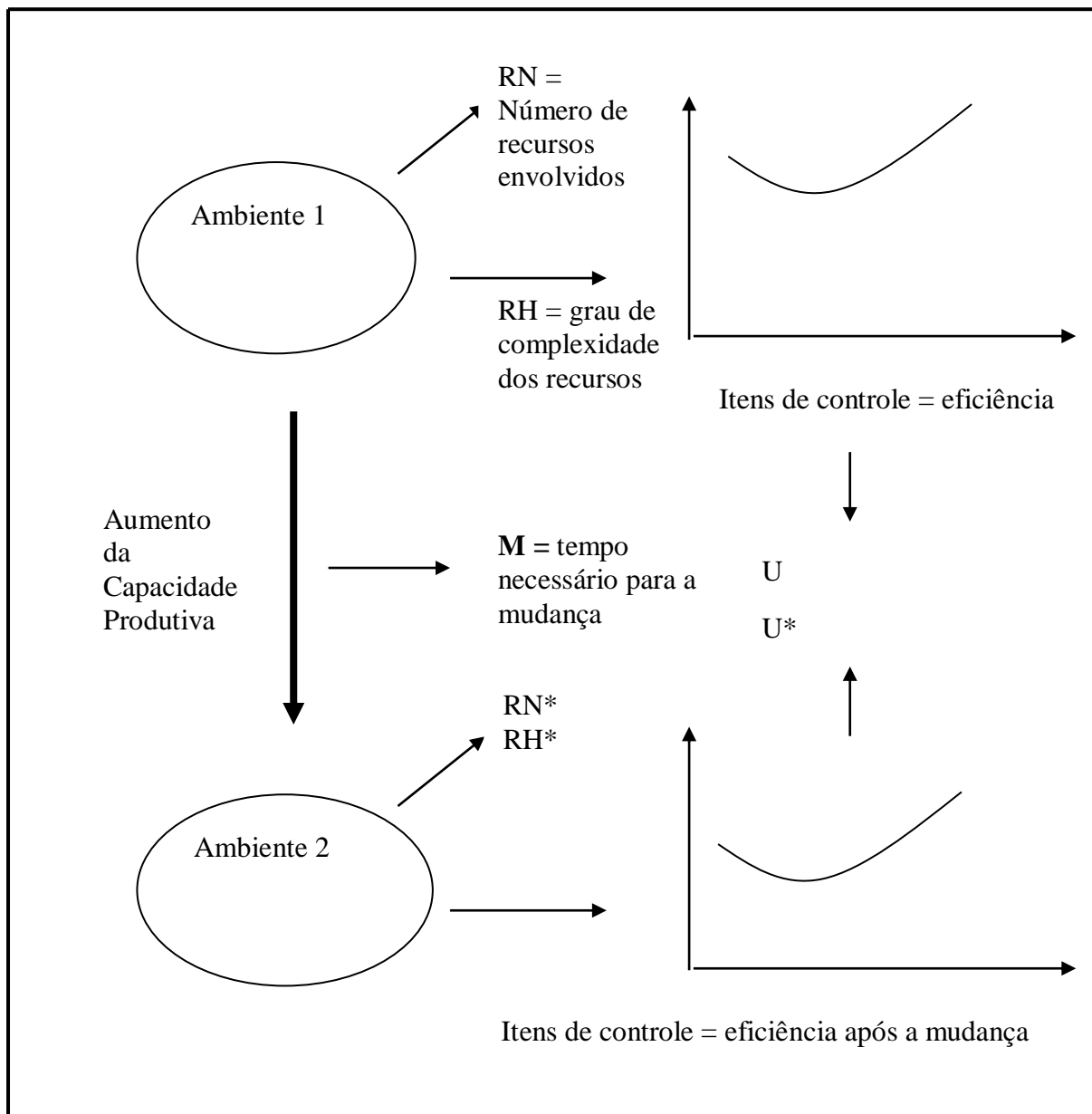


Figura 3.5 – Estrutura esquemática para análise da flexibilidade de expansão

3.3.1.1 – Avaliação dos parâmetros RN e RH

A proposta dos autores pesquisados, para avaliação da amplitude neste tipo de flexibilidade, aplica-se somente ao ambiente de um FMS. Refere-se ao número de ampliações possíveis do sistema, sem a total duplicação do mesmo. Os autores pesquisados referem-se à esta característica como sendo a capacidade de ampliação modular. Num sistema celular balanceado, esta característica deixa de existir quando o produto é acabado numa única célula, pois sua ampliação é efetivamente a duplicação da célula. Quando o produto passa por mais de uma célula, ou por células e áreas de layout funcional, esta questão pode ser avaliada.

Desta forma, a proposta é definir a amplitude RN como sendo o número de máquinas, equipamentos e pessoas, envolvidos no sistema celular existente; e RH, como sendo a complexidade dos equipamentos e características que afetem o seu “lead time” de obtenção, e o tempo necessário de seleção e treinamento da mão-de-obra envolvida. Analisando estas características dos subsistemas a serem estudados, e conhecendo o tempo necessário para a expansão do sistema, pode-se concluir qual destes subsistemas possui a melhor mobilidade de expansão.

3.3.1.2 – Análise da Mobilidade (M)

A mobilidade será avaliada levando-se em consideração o tempo necessário para o aumento da capacidade instalada. Considerando que o sistema estudado esteja atuando ao limite de sua capacidade, nominal C . Esta capacidade pode ser expandida com o auxílio de horas extras numa taxa T_xh , que pode ser obtida por meio da equação 3.1.

$$T_xh = \frac{d}{D} \quad (3.1)$$

onde: d = Número de horas extras possíveis no mês;

D = Número de horas normais no mês;

Portanto, a capacidade com horas extras (Ch) pode ser obtida pela equação 3.2;

$$Ch = (1 + T_xh) * C \quad (3.2)$$

A adequação da flexibilidade de expansão deve ser avaliada em relação a taxa de crescimento da demanda do mercado (Tcd), ou seja, a mobilidade é suficiente ou máxima, quando atende ao crescimento de demanda previsto para o potencial ambiente futuro. Quando o potencial ambiente futuro não apresenta um crescimento de demanda, pode-se definir a flexibilidade como máxima neste momento. É base para este estudo, que tanto a taxa de crescimento, como a mobilidade, estejam vinculadas ao tempo. Pode-se considerar dt como sendo a demanda no momento t e dt^* como sendo a demanda de referência futura no momento t^* , para o cálculo da taxa de crescimento da demanda (Tcd), e o período de tempo entre estes dois momentos (p).

Não será considerada a sustentação desta taxa de crescimento de demanda ao longo do tempo, mas sim, o fato de que esta taxa de crescimento deve ser observada no negócio. O seu tempo de sustentação influi em questões de viabilidade de investimento. No presente caso, os números de potenciais demandas futuras foram obtidos de planos de vendas, e projetos potenciais em andamento. Não foram utilizados métodos estatísticos para a determinação da probabilidade de ocorrência destas demandas, por não ser prática do ambiente em estudo.

Pode-se calcular a mobilidade da flexibilidade de expansão (EFm) conforme a equação 3.3.

$$EFm = \frac{Tch_1}{Tcd} \quad (3.3)$$

O termo Tcd é definido conforme equação 3.4.

$$Tcd = \frac{dt^* - dt}{p} \quad (3.4)$$

O termo Tch_1 é definido conforme equação 3.5

$$Tch_1 = \frac{Ch + C_1 - C}{Pm} \quad (3.5)$$

sendo: Pm = Tempo necessário para introdução de um módulo no sistema;

C_1 = Capacidade de produção de um módulo;

3.3.1.3 – Análise da Uniformidade (U)

Neste trabalho são avaliados os possíveis impactos por meio da eficiência. A eficiência a ser considerada será a da MOD, pois a eficiência da utilização dos equipamentos é muito afetada pelo volume envolvido no projeto de expansão, e sua maior relevância é econômica.

Mesmo sendo a finalidade da flexibilidade de volume, o estudo da lucratividade relacionada ao volume de produção, vale salientar que geralmente o aumento do volume de produção pela expansão do sistema tem um grande potencial para a melhoria do resultado financeiro. Neste estudo, tem-se como objetivo evitar a perda da eficiência da MOD assegurando a adequada ocupação da mesma na célula ou no sistema. Não é considerada na análise de eficiência a eventual utilização de parte da MOD em outras atividades na planta, pois tornaria o trabalho muito complexo e sairia da esfera da colocação conceitual dos aspectos da flexibilidade, migrando para aspectos de gestão de piso de fábrica.

Como a eficiência potencial de qualquer sistema de manufatura, por conceito, é igual a 1, numa expansão, a eficiência potencial é afetada quando sabidamente contrata-se pessoas para a operação de uma célula ou máquina, com uma demanda compromissada menor que sua capacidade efetiva. Assim, a eficiência potencial para esta situação será sempre menor que 1. Graficamente, o fato pode ser melhor analisado pela figura 3.6. No momento T_1 foi iniciada a expansão, e em consequência de uma demanda inicial menor que a nova capacidade, a eficiência inicialmente cai e depois se recupera, até que no momento T_2 a demanda atinge novamente o nível da capacidade da MOD.

Concluindo, o valor numérico da uniformidade para flexibilidade de expansão (EFu) pode ser obtido comparando-se a eficiência antes da expansão com a eficiência após a expansão, conforme equação 3.6. A eficiência antes da expansão será 1 ou 100% conforme já exposto, pois a capacidade teórica da MOD é igual à demanda exigida pelo mercado. Já no caso da eficiência após a expansão, deve-se considerar a demanda de mercado aumentada (a nova demanda) e dividi-la pela capacidade teórica da MOD, conforme apresentado na equação 3.7. Será considerada uma demanda mínima para o momento da expansão conforme demonstra a equação 3.8, pois admite-se que a capacidade já era aumentada pelo trabalho em horas extraordinárias, conforme o fator de 1,0909 já definido como limite legal na região onde a planta está instalada. A uniformidade varia de zero (0) até 1, indicando respectivamente, nenhuma ou total uniformidade para a flexibilidade de expansão. Quando EFu for maior ou igual a 1, tem-se uma total uniformidade para flexibilidade de expansão.

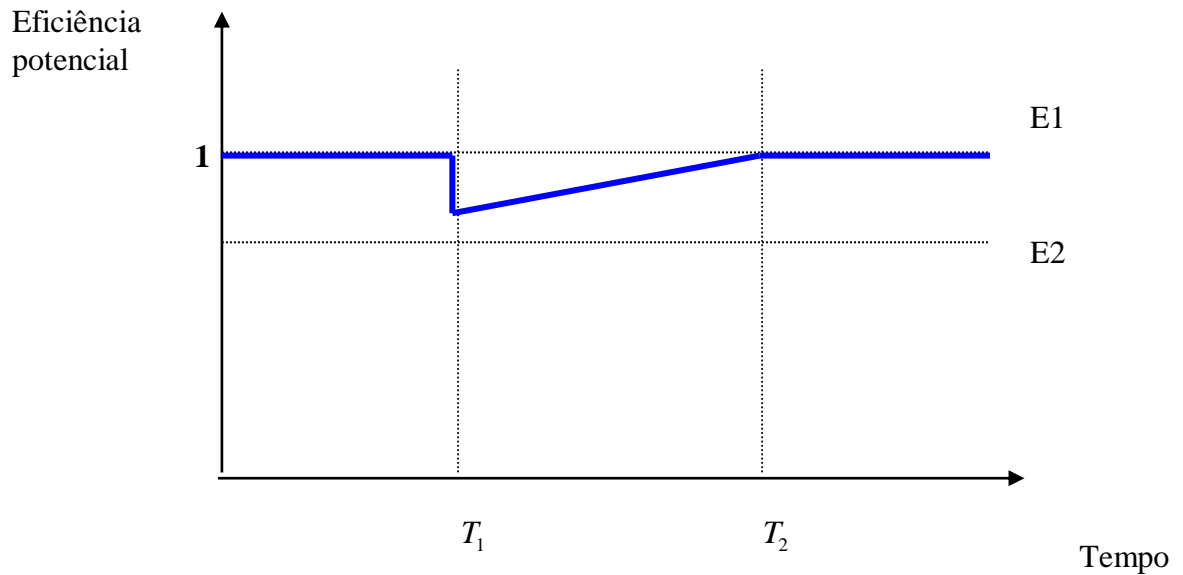


Figura 3.6 – Comportamento da eficiência da MOD (E) durante o processo de expansão

$$EFu = 1 - \frac{\xi_1 - \xi_2}{\xi_1} \quad (3.6)$$

Onde: ξ_1 = Eficiência antes da expansão;

ξ_2 = Eficiência após a expansão (Quando este valor for maior que 1, significa que a nova capacidade será totalmente comprometida com a demanda mínima D_{\min});

A eficiência ξ_2 é obtida pela equação 3.7.

$$\xi_2 = \frac{D_{\min}}{C_{tmo}} \quad (3.7)$$

onde: C_{tmo} = Capacidade expandida com um turno de trabalho;

O termo D_{\min} é obtido pela equação 3.8.

$$D_{\min} = C * 1,0909 \quad (3.8)$$

Sabendo que esta uniformidade está relacionada ao tamanho da planta, em relação ao seu número de células ou módulos, e seu potencial de produção em horas extraordinárias, sempre que

um produto for concluído dentro de uma célula, pode-se calcular a EFu considerando apenas o fator de hora extras e o número de células ou módulos que a mesma possui.

Neste caso o cálculo seria feito pela equação 3.9. A uniformidade é 1 ou 100% quando não há perda de eficiência da mão-de-obra direta. Isto somente ocorre quando, D_{min} for igual ou maior que a capacidade expandida com a adição modular da mão-de-obra direta (MOD). No estudo de caso não será aplicado este conceito.

$$EFu = \frac{Nc * Nt * 1.0909}{Nc * Nt + 1} \quad (3.9)$$

onde: Nc = Número de células;

Nt = Número de turnos de trabalho;

3.3.2 – Flexibilidade de Máquina

Também se identifica na literatura a utilização de fatores como: tempo de troca, facilidade para superar as paradas por manutenção, facilidade com que se permite a substituição de ferramentas que se quebram e outros, como sendo os fatores determinantes para avaliação desta dimensão. Ocorre que, nesta mesma literatura, o objetivo é identificar a melhor máquina para compor um FMS, enquanto que o objetivo deste trabalho é equacionar a flexibilidade de máquina, no sistema de manufatura celular existente.

Para que este objetivo seja atingido, e ao mesmo tempo, respeitando os atributos definidos como relevantes para a flexibilidade de máquina, será utilizado o impacto gerado pelo tempo de troca de tipo de peça como fator para medição da flexibilidade. Tal escolha deve-se, principalmente, ao fato de que as células já estão configuradas de maneira bem específica para as diferentes tecnologias (famílias) a serem produzidas por este sistema. Ao invés da execução de diferentes operações por uma máquina, a mesma foi construída para a execução de uma operação bem específica, e desta forma, as trocas ocorrem somente entre lotes a serem executados na mesma operação. Assim, pode-se definir que flexibilidade de máquina neste ambiente de manufatura celular é a capacidade de absorver um elevado número de trocas de tipos de produto, sem gerar uma queda acentuada na eficiência operacional. A análise desta dimensão da flexibilidade, no enfoque escolhido, é apresentada pela figura 3.7, e conforme sugerido por esta figura, vê-se que a mobilidade torna-se apenas uma questão de prioridade econômica. Tal proposta deve-se ao fato de que adequar ou não a eficiência perdida numa mudança de ambiente (redução média do tamanho do

lote) é uma decisão baseada no retorno do investimento necessário para o aumento da flexibilidade da máquina. Assim, é feito o equacionamento da mobilidade (M) para esta dimensão, baseado apenas no tempo necessário para a introdução de medidas que corrijam os eventuais impactos na eficiência, gerados pela mudança de ambiente nesta dimensão. A correção a ser efetuada deve assegurar o retorno dos índices de eficiência aos patamares anteriores a mudança, desde que obviamente os mesmos tenham sido afetados de forma negativa.

Vale salientar, que caso a mudança de ambiente gere um aumento da eficiência, potencialmente com um aumento do tamanho médio dos lotes, classifica-se o sistema como totalmente flexível, porém, num retorno para a condição atual, o mesmo será classificado como não sendo totalmente flexível para a mudança.

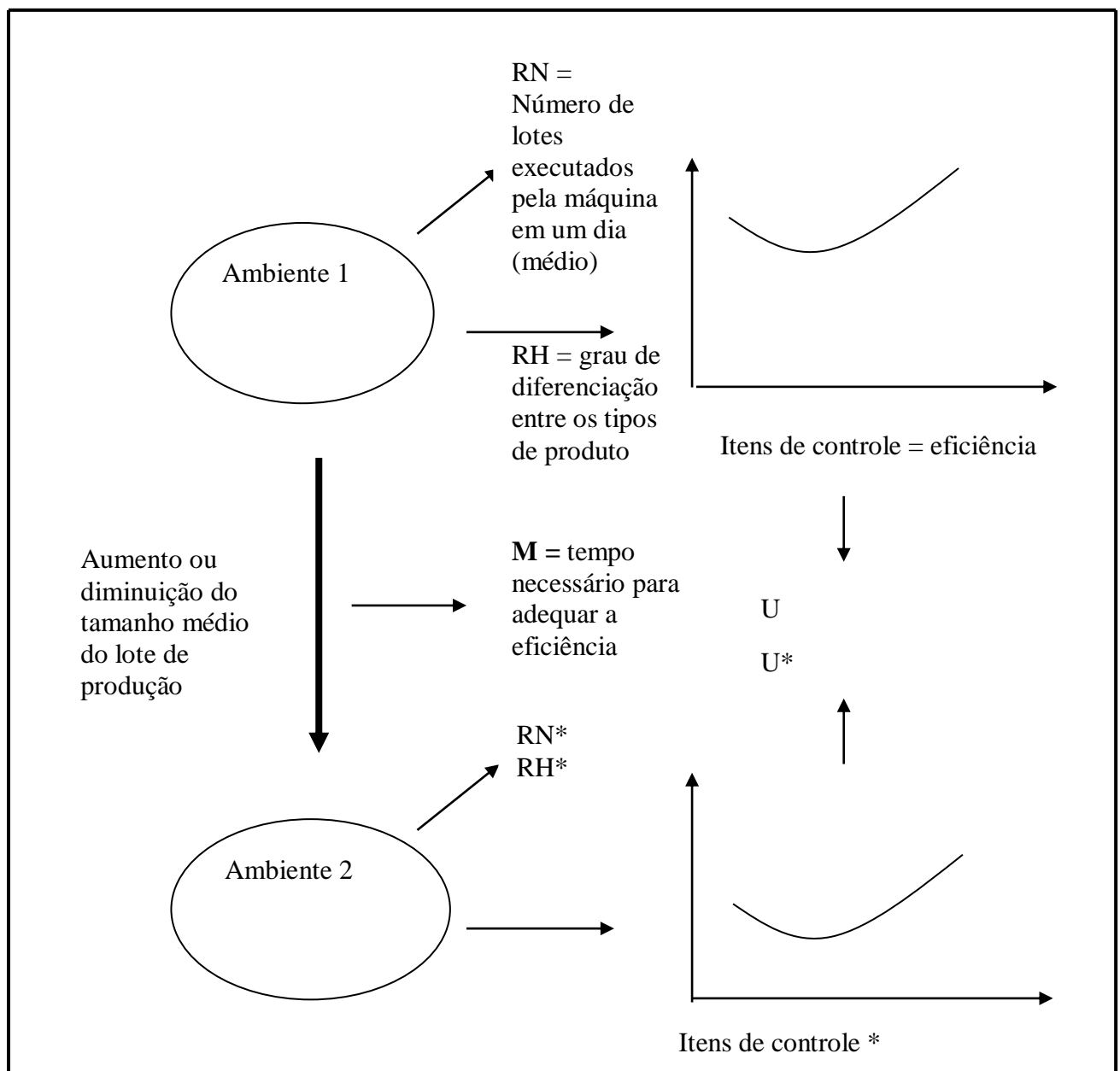


Figura 3.7 – Estrutura esquemática para análise da flexibilidade de máquina

3.3.2.1 – Análise dos parâmetros RN e RH

A sugestão de KOSTE e MALHOTRA (1999), é a utilização do número de diferentes operações que a máquina executa, como definição da amplitude RN, mas em uma célula com máquinas desenhadas especificamente para a operação que executam, não cabe estudar este tipo de característica. Por este motivo define-se esta amplitude neste ambiente como sendo o número de lotes de produção executados pela máquina em um dia.

Neste mesmo conceito, a amplitude RH que mede a heterogeneidade entre os itens, não será definida pela diferença entre operações, mas sim pelo grau de diferenciação dos produtos que executa. Desta forma, pode-se utilizar o indicador RH para identificar o ambiente (planta) com maior complexidade entre produtos.

A empresa em questão utiliza-se de um sistema para diferenciar seus produtos pelo grau de complexidade. É utilizado um indicador chamado de peça equivalente, que é calculado com base na quantidade de recursos necessários para a produção do componente durante o processo de manufatura. O critério utilizado leva em consideração o número de operações e o tempo de cada operação para o cálculo deste fator de equivalência, sendo que o produto mais simples é considerado como a base de equivalência 1, e o mais complexo N.

Desta forma, pode-se representar a amplitude RH pela diferença entre o produto mais simples e o mais complexo na mesma planta (ΔE). A equação 3.10 ilustra como isto é feito.

$$\Delta E = E2 - E1 \quad (3.10)$$

onde: $E2$ = O número de equivalência do produto mais complexo;

$E1$ = O número de equivalência do produto mais simples;

3.3.2.2 – Análise da Mobilidade (M)

A mobilidade para a flexibilidade de máquina (MFm) é avaliada entre as plantas, comparando-se o tempo necessário para adequar os valores de eficiência dentro do novo ambiente potencial. A equação 3.11 ilustra de forma matemática, a quantificação da MFm .

$$MFm = Ta \quad (3.11)$$

onde: $Ta = 1$ para a planta com menor tempo necessário para a adequação da eficiência;

Para as outras plantas o valor de Ta será calculado pela proporção de seu tempo necessário, em relação à planta com o valor 1.

3.3.2.3 – Análise de Uniformidade (U)

Também para esta dimensão, a uniformidade será avaliada pela eficiência. Será utilizada a eficiência da máquina na execução da operação para qual se destina na célula, mantendo-se o conceito de eficiência teórica. Neste caso, a eficiência teórica será calculada baseada apenas no tempo operacional e no tempo de troca padrão. O equacionamento proposto para a flexibilidade de máquina com base na uniformidade (MFu) é ilustrado pela equação 3.12. As equações 3.13 e 3.14, apresentam a forma de cálculo para a eficiência nos dois ambientes, atual e potencial.

É sugerido por BRILL e MANDELBAUM (1989) que a flexibilidade de máquina seja definida comparando-se a eficiência de uma máquina com a eficiência média da planta, porém num ambiente celular avalia-se somente a eficiência da máquina “gargalo” da célula. Quanto à análise da eficiência ou flexibilidade em relação às outras máquinas da planta, não leva em consideração o que realmente uma maior flexibilidade de uma determinada máquina pode agregar de valor ao sistema, pois não inclui a avaliação de sua relevância para uma mudança potencial de ambiente. Num FMS a proposta dos autores citados atende outros objetivos de análise, como por exemplo, a decisão sobre o projeto e escolha de máquinas para aumento de capacidade.

$$MFu = 1 - \frac{\xi_1 - \xi_2}{\xi_1} \quad (3.12)$$

A eficiência ξ_1 é obtida pela equação 3.13.

$$\xi_1 = \frac{Top_1}{Top_1 + Tst} \quad (3.13)$$

A eficiência ξ_2 é obtida pela equação 3.14.

$$\xi_2 = \frac{Top_2}{Top_2 + Tst} \quad (3.14)$$

onde: ξ_1 = eficiência da máquina no ambiente 1 (atual);

ξ_2 = eficiência da máquina no ambiente 2 (potencial);

Top_1 = tempo operacional padrão médio necessário para a execução do lote médio do ambiente 1 (o volume de peças de um lote médio dividido pela taxa de produção média padrão);

Top_2 = tempo operacional padrão médio necessário para a execução do lote médio do ambiente 2;

Tst = tempo de troca padrão (set up) da máquina em estudo;

A MFu terá seu valor resultante entre zero e um, sendo que quando a flexibilidade é máxima a uniformidade é máxima, o impacto na eficiência é zero. Vale salientar que a máquina menos flexível sob o conceito utilizado neste trabalho, não é necessariamente a máquina mais sensível ao impacto do tamanho do lote, pois o fator determinante é o potencial ambiente futuro, definido para a planta onde a mesma é aplicada. Assim, se não existir no ambiente potencial 2, uma redução no tamanho médio dos lotes de fabricação, esta máquina poderá ser considerada suficientemente flexível para o negócio.

Uma vez que, para o dimensionamento da flexibilidade é necessária a determinação de um novo ambiente (ou mudança potencial), a determinação do potencial ambiente futuro é estimada por uma mudança no mix de mercados. No presente caso, esta estimativa baseia-se nas perdas no mercado europeu para outras plantas do grupo na Europa, e um aumento nas vendas para o mercado de reposição americano, asiático e africano. Desta forma, cria-se um ambiente novo hipotético que determina o novo tamanho médio de lote, baseado no conhecimento dos volumes envolvidos, fornecidos pela área comercial da empresa.

3.3.3 – Flexibilidade de mão-de-obra direta (DLF)

Não foi apresentada pelos autores pesquisados, uma proposta de equacionamento para avaliação desta dimensão. A figura 3.8 apresenta o esquema de análise proposto para esta dimensão dentro da conceituação padrão.

O parâmetro RN, avaliado sob a forma proposta, permite uma avaliação mais direta da necessidade de capacitação da MOD, e não somente uma referência da complexidade do ambiente. Esta informação pode ser utilizada como base para planos de treinamento.

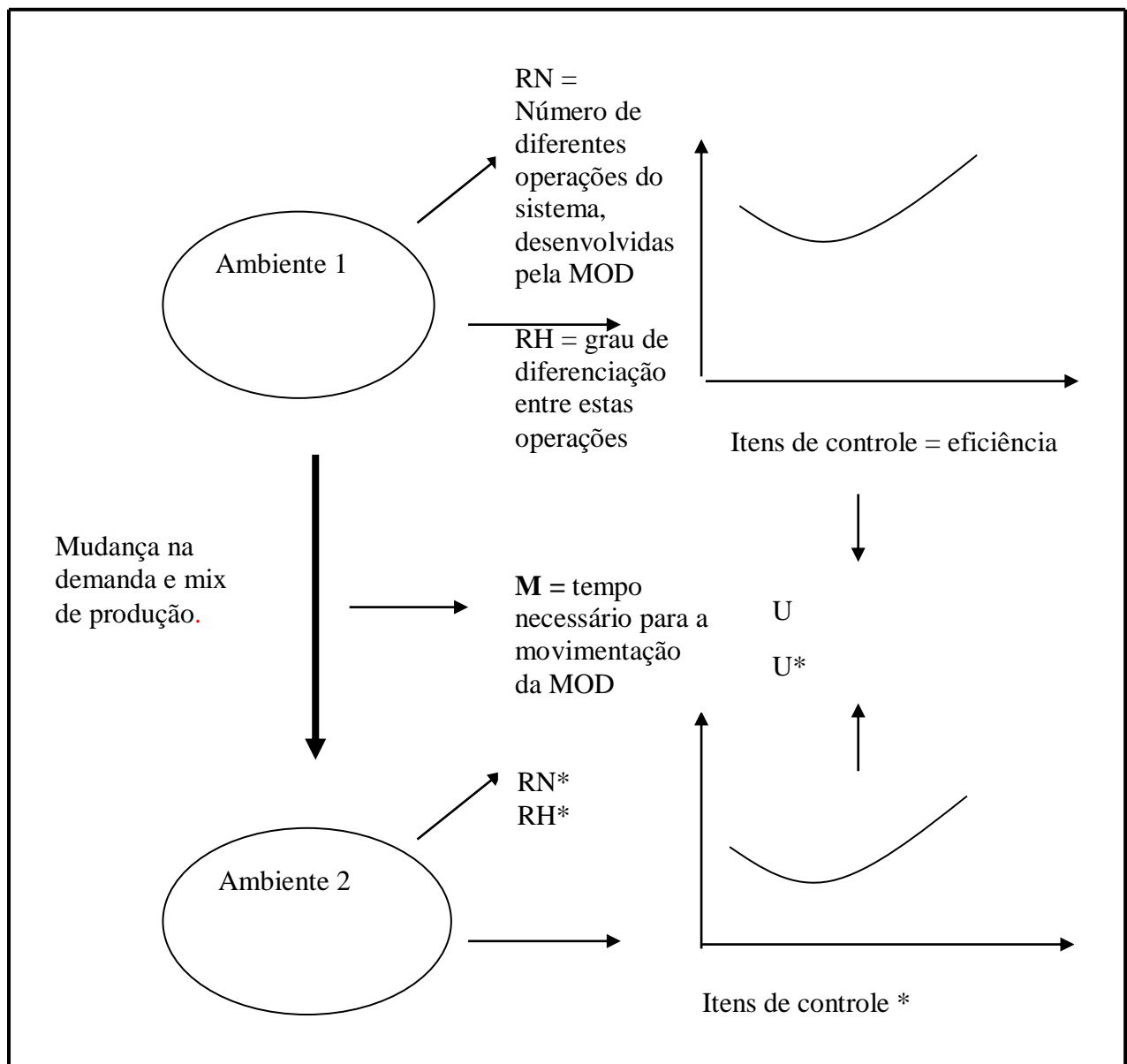


Figura 3.8– Estrutura esquemática para análise da flexibilidade de mão de obra direta (DLF)

3.3.3.1 – Avaliação dos parâmetros RN e RH

Para a determinação do parâmetro RN, tem-se em consideração que cada uma das plantas trabalha com diferentes números de pessoas, e que cada uma destas pessoas está capacitada em diferentes números de operações. Além deste aspecto, as plantas envolvem diferentes números de operações relacionadas aos processos. Por este motivo será utilizado como RN a média do número de operações que o total da MOD está apta a desenvolver. Desta forma, o conceito define a equação 3.15.

$$RN = \frac{\sum_{i=1}^n O_i}{n} \quad (3.15)$$

onde: n é o número de operadores;

O_i é o número de operações que o operador i está apto a desenvolver;

Para o dimensionamento do parâmetro RH, é utilizado o número de variáveis a serem controladas em cada operação. O número de variáveis a ser considerado refere-se ao produto e ao processo, e desta forma estará sendo estabelecida uma diferenciação entre as operações de cada planta pela complexidade do controle da operação. Pode-se ainda introduzir nesta análise fatores que diferenciem as operações pela complexidade da regulação, diferenças básicas entre as operações e processos (tipo de processo), níveis de tolerância e outros; mas que não serão utilizados neste estudo.

3.3.3.2 – Análise da Mobilidade (M)

Foi encontrada na literatura, uma proposta de medição da mobilidade ($DLFm$), por intermédio do tempo produtivo perdido para a transferência de operadores entre as operações do sistema. Como um complemento à esta proposta, o número específico de horas paradas deve ser avaliado em comparação ao tempo total disponível. Assim, é utilizada para a aplicação a ser desenvolvida, a equação 3.16. É mantido o mesmo conceito de flexibilidade máxima igual à 1 (um).

$$DLFm = \frac{Ttd - Tp}{Ttd} \quad (3.16)$$

onde : Tp = Tempo de máquina parada em horas por dia, para a localização de MOD alternativa;

Ttd = Tempo total de máquina disponível no sistema em um dia;

3.3.3.3 – Análise de Uniformidade (U)

Também para esta dimensão, adota-se a avaliação pela eficiência. É utilizada a eficiência da MOD na execução da operação considerando-se a colocação da MOD alternativa na célula, mantendo-se o conceito de eficiência teórica. Neste caso também a eficiência será calculada baseada apenas no tempo operacional e tempo de troca padrão. O equacionamento proposto para a flexibilidade de MOD, com base na uniformidade ($DLFu$), é apresentado na equação 3.17. É utilizada apenas a célula como potencial área de rotatividade da MOD entre as operações. O conceito é similar ao já discutido na flexibilidade de máquina, assim a MOD dos bloqueios ou layout funcional, não serão consideradas.

$$DLFu = 1 - \frac{\xi_1 - \xi_2}{\xi_1} \quad (3.17)$$

onde: ξ_1 = A eficiência da operação com o operador efetivo (atual)

ξ_2 = A eficiência da operação com a MOD alternativa.

A $DLFu$ terá seu valor resultante entre zero e um, sendo que quando a flexibilidade é máxima a uniformidade é máxima, ou seja, o impacto na eficiência é zero. Para este experimento utiliza-se a MOD alternativa somente na “máquina gargalo”, admitindo que somente nesta máquina a eficiência é relevante para o sistema.

Pode-se também determinar este fator $DLFu$, de forma potencial, avaliando-se simplesmente o nível de capacitação dos operadores para as operações envolvidas no sistema. Espera-se que um operador bem treinado, e bem pontuado num processo de avaliação, mantenha o nível de eficiência da operação. Vale enfatizar que isto refletiria a flexibilidade potencial, uma vez que a eficiência não estaria sendo avaliada de forma comparativa.

Este método exige a definição das operações para as quais deve existir um número maior de pessoas capacitadas, e o grau de importância destas operações para com a eficiência da célula pode auxiliar na definição do nível de capacitação desejada. Assim, se os investimentos em treinamento são focados na flexibilidade da MOD, este investimento pode ser otimizado por este critério, e as metas de capacitação certamente serão atingidas com menor custo.

3.3.4 – Flexibilidade de roteamento

No ambiente celular, não há sentido em estudar-se este tipo de flexibilidade no conceito intracelular. Os conceitos de TG levam à busca de um fluxo o mais uniforme possível dentro da célula, no que tange ao seu arranjo físico ou a formação da família de produtos a serem processados na célula. Por outro lado, a flexibilidade de roteamento pode ser estudada no ambiente intercelular, analisando a flexibilidade de roteamento entre as células nas diferentes fases de produção do produto, quando o mesmo passa por mais de uma célula para a sua total execução. A figura 3.9 apresenta o esquema de análise proposto para esta dimensão dentro da conceituação padrão.

Propõe-se então, um ajuste na definição proposta pela literatura, colocando a flexibilidade de roteamento, como sendo a capacidade de uso alternativo de outras células ou máquinas, para execução de um mesmo produto, sem alteração do seu processo de execução. Esta dimensão da flexibilidade é discutida por vários autores, sem que o aspecto de seu dimensionamento tenha sido apresentado pelos mesmos.

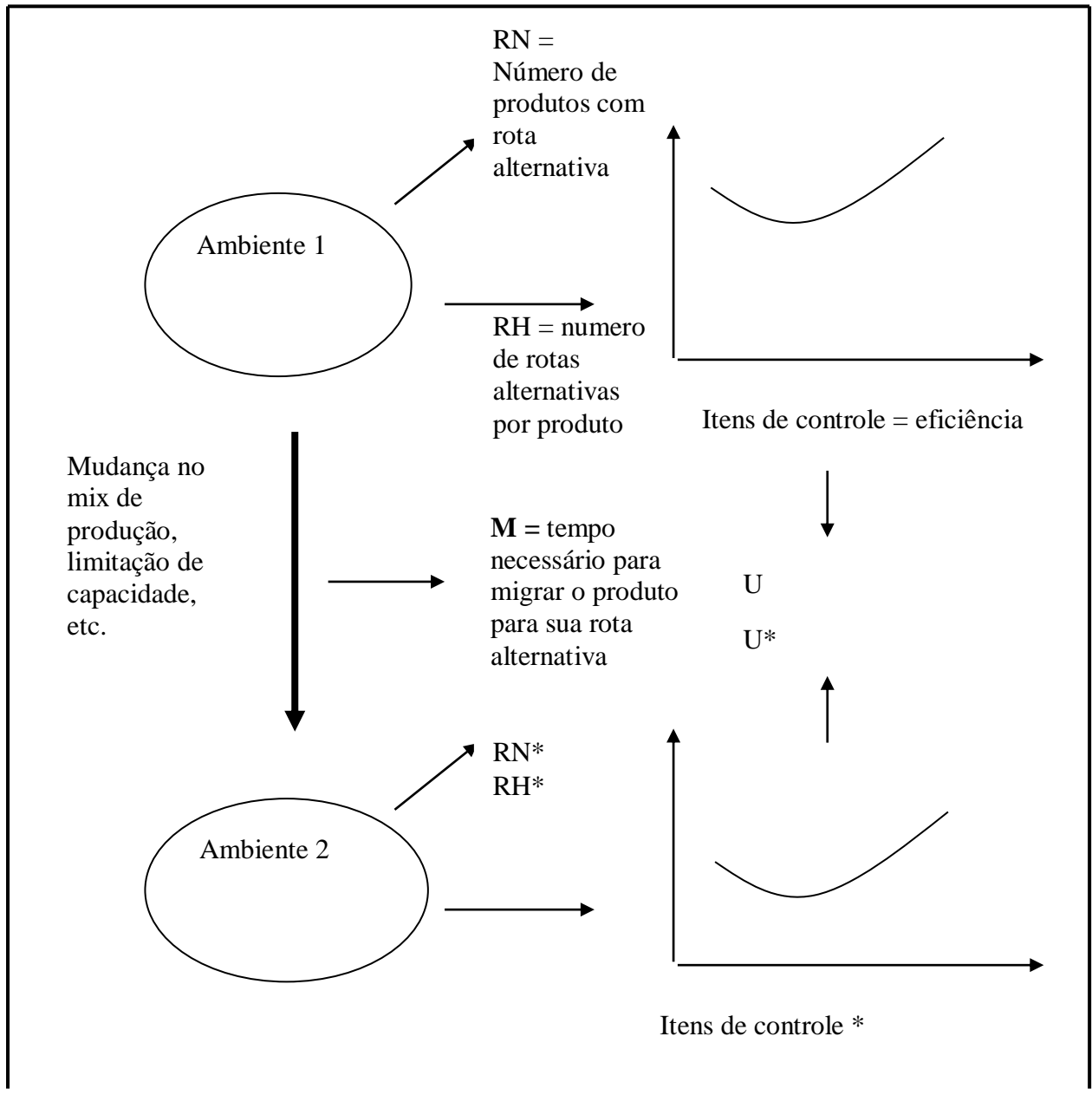


Figura 3.9– Estrutura esquemática para análise da flexibilidade de roteamento (RF)

3.3.4.1 – Avaliação dos parâmetros RN e RH

Uma vez que será analisada apenas a questão do roteamento entre células, existem duas situações a serem consideradas. Uma delas é aplicada aos produtos que são concluídos em uma única célula. Assim o fator determinante para a amplitude RH é a existência de mais de uma célula,

idêntica, que possa ser utilizada na fabricação destes produtos. As plantas 1, 2, 6, e 7 possuem esta característica, e o número de rotas alternativas é exatamente o número de células similares existentes.

Na segunda situação, temos as plantas três, quatro e cinco, cujos produtos são executados em mais de uma fase ou célula. Neste caso RH será definido pelo número de diferentes rotas possíveis com a combinação das células similares em cada fase de fabricação. Desta forma, quanto maior o número de rotas diferentes possíveis de serem utilizadas, na fabricação dos produtos da planta, mais complexo é o ambiente a ser gerenciado. Vale salientar, que um maior número de rotas alternativas para a fabricação dos produtos da planta, representa também, uma maior flexibilidade potencial da mesma.

3.3.4.2 – Análise da Mobilidade (M)

A proposta é que a mobilidade seja medida pelo tempo necessário para a colocação do lote de produção em sua rota alternativa. Muito embora, os motivos que podem gerar a necessidade de desvio do lote de produção, sejam no curto prazo gerado por fatores internos, o que se coloca em pauta nesta medição, são os impactos externos, motivados por mudança de mix ou problemas de capacidade nas células envolvidas.

É considerada uma alternativa de roteamento para uma célula idêntica, desde que no sistema de programação estas estejam identificadas como não aplicáveis em todos os produtos. Isto significa dizer, que duas células idênticas sendo tratadas com o mesmo número ou nome de identificação no sistema, são na realidade uma única célula, e aí não representa alternativa de roteamento.

3.3.4.3 – Análise de Uniformidade (U)

O método de medição proposto é o mesmo utilizado para os itens anteriores, ou seja, a comparação da eficiência para a execução do produto P na célula original, e na célula alternativa. No ambiente estudado as células são idênticas, e executam produtos similares, desta forma não faz sentido estudar a diferença de eficiência pela simples troca de célula.

3.4 – Considerações finais sobre a organização do estudo de caso

Vale observar, que o enfoque predominante foi dado para a absorção dos impactos externos, ou seja, mudanças geradas pelo ambiente externo. Não é o objetivo deste trabalho, equacionar a flexibilidade do sistema para absorver as incertezas ou mudanças geradas pelo ambiente interno, o que caracteriza esta proposta de equacionamento como sendo uma proposta de equacionamento da flexibilidade externa do sistema de manufatura estudado.

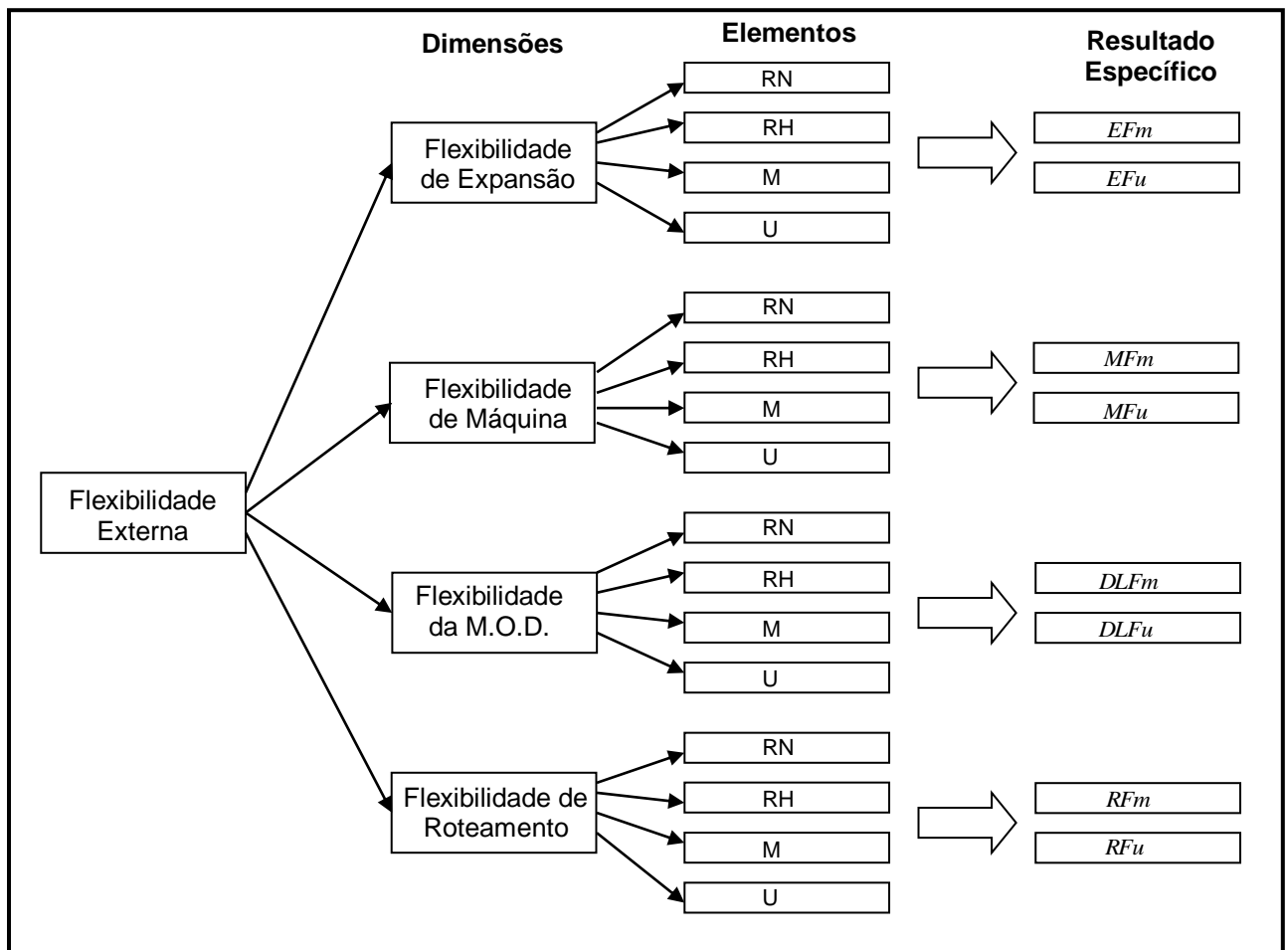


Figura 3.10 – Estrutura para avaliação da flexibilidade no ambiente celular

As questões relacionadas à flexibilidade interna são, na maioria dos casos, selecionadas com os indicadores operacionais do sistema de manufatura. Trata-se de indicadores de tempo médio entre falhas dos equipamentos e máquinas na área de manutenção; indicadores de eficiência da MOD nas áreas de produção, interrupção de produção (down time), entre outros. Uma vez que estes indicadores operacionais podem ter suas metas bem definidas, não há a necessidade de incluir no sistema este enfoque da flexibilidade, valendo-se esta apenas para os impactos do ambiente externo.

Como resultado das propostas para avaliação da flexibilidade externa, no ambiente celular, tem-se uma nova estrutura de avaliação na figura 3.10. Esta figura baseia-se na proposta de UPTON (1994), excluindo a decisão do alcance no tempo, que é consequência do próprio enfoque das propostas de medição. A partir desta proposta é feita a aplicação no estudo de caso apresentado no capítulo 4.

Capítulo 4

Estudo de Caso

4.1 – Considerações iniciais

Utilizando-se das definições e métodos de avaliação de flexibilidade apresentadas no capítulo 3, busca-se neste capítulo aplicar no sistema de manufatura escolhido, estes métodos de dimensionamento propostos. Há também a identificação de oportunidades para o aumento da flexibilidade do sistema. A aplicação é concentrada nas dimensões: flexibilidade de expansão, flexibilidade de máquina, flexibilidade da MOD e flexibilidade de roteamento.

4.2 – Avaliação das dimensões

As quatro dimensões definidas serão avaliadas pelos elementos amplitude RN e RH, mobilidade M e a uniformidade U, conforme definidos no capítulo 3.

4.2.1 – Flexibilidade de Expansão

4.2.1.1 – Análise dos parâmetros RN e RH

A amplitude RN pode ser avaliada pela tabela 4.1, onde tem-se o número de recursos envolvidos (máquina, equipamento e mão de obra) nas diferentes plantas.

Nesta etapa do trabalho vale comentar, que as plantas 3, 4 e 5 tem o seu processo dividido em 4 etapas, passando por diferentes células e áreas organizadas em layout funcional, que a partir deste ponto serão chamadas de “bloqueios”. Apenas as etapas celulares serão avaliadas neste trabalho. Nos anexos 10 à 15 tem-se o layout de apenas um módulo (uma célula) de cada planta.

Recurso	PLANTA						
	1	2	3	4	5	6	7
Número de máquinas e equipamentos envolvidos no sistema ou numa célula	15	53	82	138	58	28	11
Número de pessoas envolvidas no sistema ou em uma célula	36	84	139	229	111	42	27

Tabela 4.1 – RN para flexibilidade de Expansão

A amplitude RH é muito similar entre as plantas, pois em seu processo todos utilizam máquinas e equipamentos totalmente manuais, e equipamentos automatizados com uso da tecnologia CNC, PLC ou PC. Sabendo-se que a organização é celular, e que existem todos os três tipos de equipamentos descritos numa mesma célula, e em todas as plantas, não há parâmetros que justifiquem uma diferenciação entre a complexidade destes recursos.

Discutindo um pouco sobre os recursos humanos envolvidos, a maior complexidade de treinamento para a capacitação da mão-de-obra está nas plantas 3, 4 e 5. A tabela 4.2 apresenta os tempos de treinamento programados para a capacitação da mão-de-obra direta (MOD) em cada planta. O objetivo é, por meio do tempo de treinamento, estabelecer a complexidade ou amplitude RH da quantidade de recursos humanos envolvida. Este tempo de treinamento serve também como base para a análise da mobilidade M.

Utilizando-se então, a soma do número de equipamentos e de pessoas para o estabelecimento de RN, e utilizando-se o tempo de treinamento como parâmetro RH, pode-se ilustrar graficamente esta complexidade, conforme gráfico 4.1, onde temos as plantas identificadas de P1 a P7. Conclui-se que a planta 4 é a mais complexa, tanto pela amplitude RN, como pela amplitude RH. A planta 7 é a que apresenta o menor grau de complexidade.

Tempo de treinamento	PLANTAS						
	Planta 1	Planta 2	Planta 3	Planta 4	Planta 5	Planta 6	Planta 7
Treinamento externo	10 semanas						
Treinamento Interno	05 semanas	04 semanas	06 semanas			04 semanas	
Tempo total	15 semanas	14 semanas	16 semanas			14 semanas	

Tabela 4.2 – Tempo requerido para treinamento

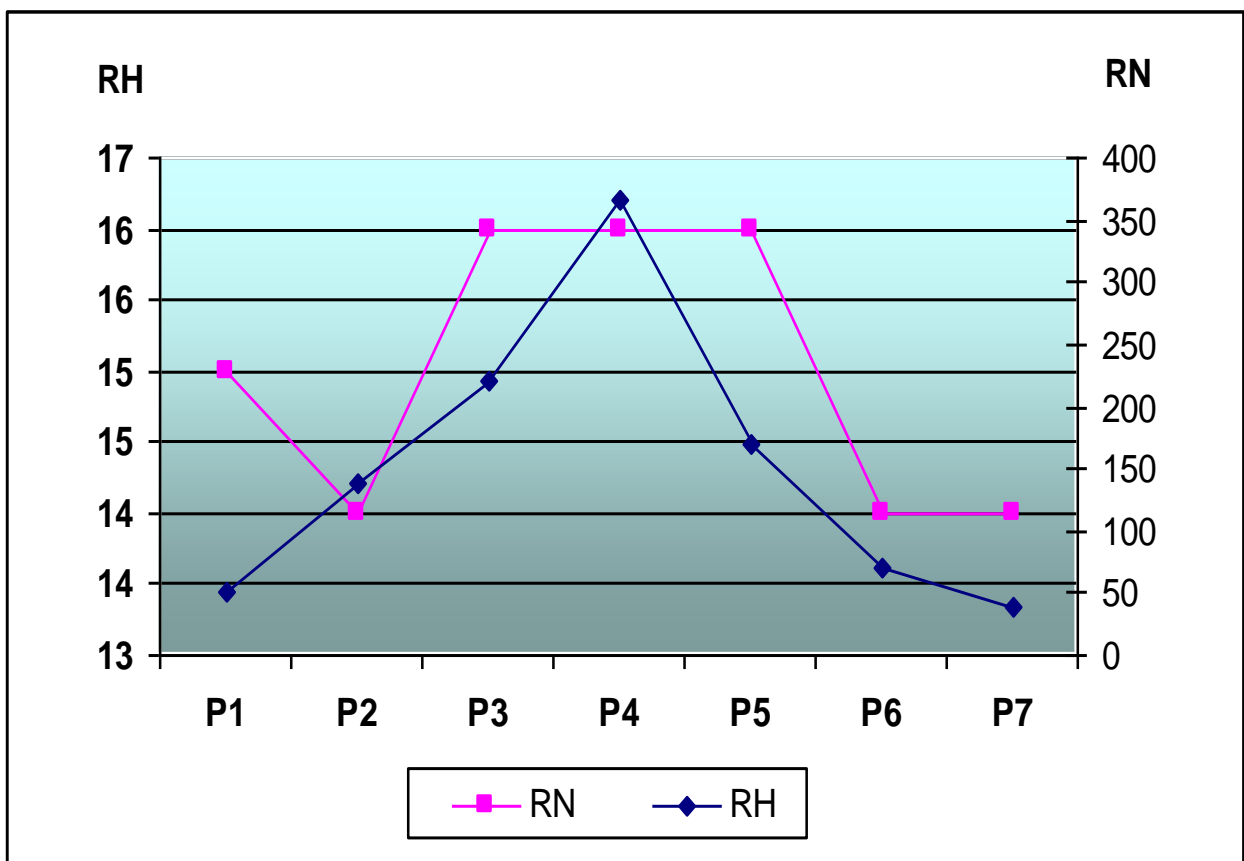


Gráfico 4.1 – Resultado comparativo da amplitude para a flexibilidade de expansão

4.2.1.2 – Análise da Mobilidade (M)

A mobilidade é avaliada levando-se em consideração o tempo necessário para o aumento da capacidade instalada, comparando-o com a velocidade estimada para o aumento da demanda. As referências para tal constam na tabela 4.2 e 4.3. Com relação ao tempo de treinamento, é

considerado apenas o período de treinamento interno apresentado na tabela 4.2, pois considera-se que o treinamento externo pode ser feito em paralelo com as outras atividades.

Atividade ou recurso	Plantas						
	Planta 1	Planta 2	Planta 3	Planta 4	Planta 5	Planta 6	Planta 7
Tempo para seleção e capacitação da MOD	05 semanas	04 semanas	06 semanas			04 semanas	
Tempo para aquisição de máquinas e equipamentos	16 semanas	40 semanas	25 semanas	40 semanas	25 semanas	20 semanas	19 semanas
Tempo para instalação e lote inicial	02 semanas		03 semanas	04 semanas	05 semanas	02 semanas	
Tempo total para introdução de um modulo ou célula	23 semanas	46 semanas	34 semanas	50 semanas	36 semanas	26 semanas	25 semanas

Tabela 4.3 – Tempo requerido para expansão do sistema

É considerada uma taxa de hora extra T_{xh} de **0,0909**, conforme definido no capítulo 3, e o restante das variáveis envolvidas são apresentadas na tabela 4.4. A taxa de crescimento da demanda (T_{cd}) é determinada sobre os indicadores dos números de vendas desde o ano 2000, e admite-se que a mesma poderá ocorrer num momento em que a planta estará produzindo com total capacidade. O período utilizado para a determinação deste crescimento de demanda, para este cálculo, é determinado em conjunto com a área de logística.

Em função de alguns picos não terem sido gerados pelo mercado, mas sim por problemas internos, para esta análise estes picos foram excluídos. Os indicadores utilizados estão exemplificados nos anexos 8 e 9, ilustrando o contexto das plantas 6 e 7 respectivamente. Para avaliação do resultado, EF_m igual ou maior que 1, indica a total mobilidade, ou seja, a expansão ocorrerá dentro do período de crescimento da demanda; e reduzindo-se até zero, quando indica nenhuma mobilidade para a flexibilidade de expansão, o que significa, o não atendimento ao potencial crescimento da demanda no prazo estimado para este crescimento.

	Plantas						
	1	2	3	4	5	6	7
P_m (dias)	161	322	238	350	252	182	175
C (peças / dia)	22.100	124.000	32.500	79.000	24.000	168.000	54.000
Ch (peças / dia)	24.109	135.272	35.454	86.181	26.181	183.271	58.908
Tcd (peças / dia)	72	191	112	222	83	588	300
C_1 (peças / dia)	11.500	25.000	16.250	26.333	12.000	168.000	18.000
Tch_1 (peças / dia)	83,90	112,64	80,69	95,75	56,27	1007	130,90
EF_m	1,16	0,59	0,72	0,43	0,68	1,71	0,43

Tabela 4.4 – Variáveis para cálculo da mobilidade da flexibilidade de expansão - EF_m

4.2.1.3 – Análise da Uniformidade (U)

Conforme definido, o valor numérico da EF_u é obtido comparando-se a eficiência antes da expansão com a eficiência após a expansão. A uniformidade varia de zero até 1. Quando o valor é igual a um, a eficiência não é prejudicada. Pode ocorrer em algumas análises de uniformidade com valores resultantes maiores que um, indicando que a eficiência foi aumentada nesta mudança de ambiente. Uma vez que nestes casos não há necessidade de ação corretiva, neste trabalho é sempre considerado o valor limite igual a 1. Quando o valor ultrapassar este limite será suprimido da análise, até mesmo para simplificação da mesma.

A flexibilidade de mão-de-obra é muito relevante para o equacionamento da flexibilidade de expansão, pois os módulos podem ser ampliados ou duplicados, e a instalação da mão-de-obra direta (MOD) necessária pode ser feita parcialmente, desde que os operadores sejam capacitados a operar todas as máquinas envolvidas. Esta questão não é objeto de estudo deste trabalho.

A tabela 4.5 apresenta as variáveis utilizadas para o cálculo da uniformidade para a flexibilidade de expansão.

	Plantas						
	1	2	3	4	5	6	7
C (peças / dia)	22.100	124.000	32.500	79.000	24.000	168.000	54.000
D_{min} (peças / dia)	24.109	135.272	35.454	86.181	26.181	183.271	58.908
C_{tmo} (peças / dia)	26.900	138.200	37.900	98.000	29.500	229.000	69.000
ξ_2 - Eficiência com a expansão (%)	0,89	0,97	0,93	0,88	0,88	0,80	0,85
EFu	0,89	0,97	0,93	0,88	0,88	0,80	0,85

Tabela 4.5 – Variáveis para cálculo da Uniformidade para a flexibilidade de expansão - EFu

4.3.1.4 – Conclusão sobre a flexibilidade de expansão

Baseado nos dados da tabela 4.6, pode-se afirmar que a planta 1 é mais flexível com relação a expansão. Apesar da análise da amplitude ter mostrado que a planta 4 é a mais complexa, a sua flexibilidade não é a pior, muito embora tenha uma diferença muito pequena em relação à planta 7.

		Plantas						
		1	2	3	4	5	6	7
Resultado comparativo da flexibilidade de expansão	EFm	1,16	0,59	0,72	0,43	0,68	1,71	0,43
	EFu	0,89	0,97	0,93	0,88	0,88	0,80	0,85
Soma dos índices		1,89	1,56	1,65	1,31	1,56	1,80	1,28
Grau de flexibilidade comparativo entre as plantas		1	4	3	5	4	2	6

Tabela 4.6 – Resultado comparativo da flexibilidade de expansão - EF

O grau de flexibilidade comparativa entre as plantas é sugerido comparando-se os índices de mobilidade e uniformidade, pela soma dos seus respectivos valores, limitados individualmente em 1. O gráfico 4.2 permite concluir que a planta 2 apresenta a melhor estabilidade de performance num projeto de expansão até os níveis definidos, e a planta 6 apresenta a maior perda de performance. Além disto, as plantas 2, 3, 4, 5 e 7 devem ser mantidas em operação sem a total utilização de sua capacidade produtiva instalada. Esta conclusão deve-se ao fato, de que as mesmas não possuem uma adequada mobilidade para expansão.

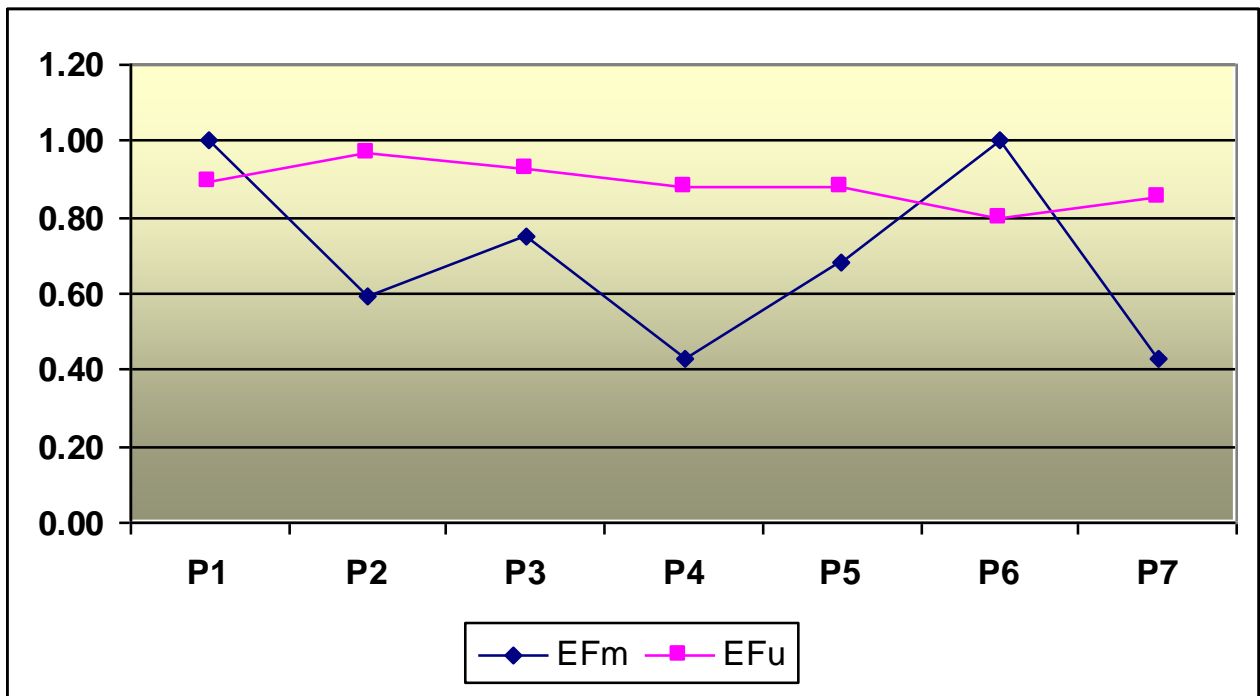


Gráfico 4.2 – Resultado comparativo da mobilidade e uniformidade para a flexibilidade de expansão

4.3.2 – Flexibilidade de Máquina

4.3.2.1 – Análise dos parâmetros RN e RH

O parâmetro RN é obtido pelo número de ordens de produção executadas em um dia de trabalho da célula. O parâmetro RN é obtido pela complexidade destes produtos. Graficamente, esta comparação pode ser feita com o auxílio do gráfico 4.3, onde concluí-se que a planta 5 é a mais complexa em ambos parâmetros de avaliação. A planta 6 pode ser considerada a planta de menor complexidade. A tabela 4.7 apresenta os valores resultantes para RN e RH, e o valor de

equivalentes utilizado no cálculo. Este valor de equivalentes resulta do sistema da empresa, conforme já detalhado no capítulo 3.

	PLANTA						
	1	2	3	4	5	6	7
<i>E2</i>	4.6	3.2	6.2	5.5	7.9	2.2	1.8
<i>E1</i>	1.4	1	2.1	1.8	2.9	1.3	1
RH	3.2	2.2	4.1	3.7	5.0	0.9	0.8
RN	6	11	9	12	15	6	12

Tabela 4.7 – Resultado de RN e RH

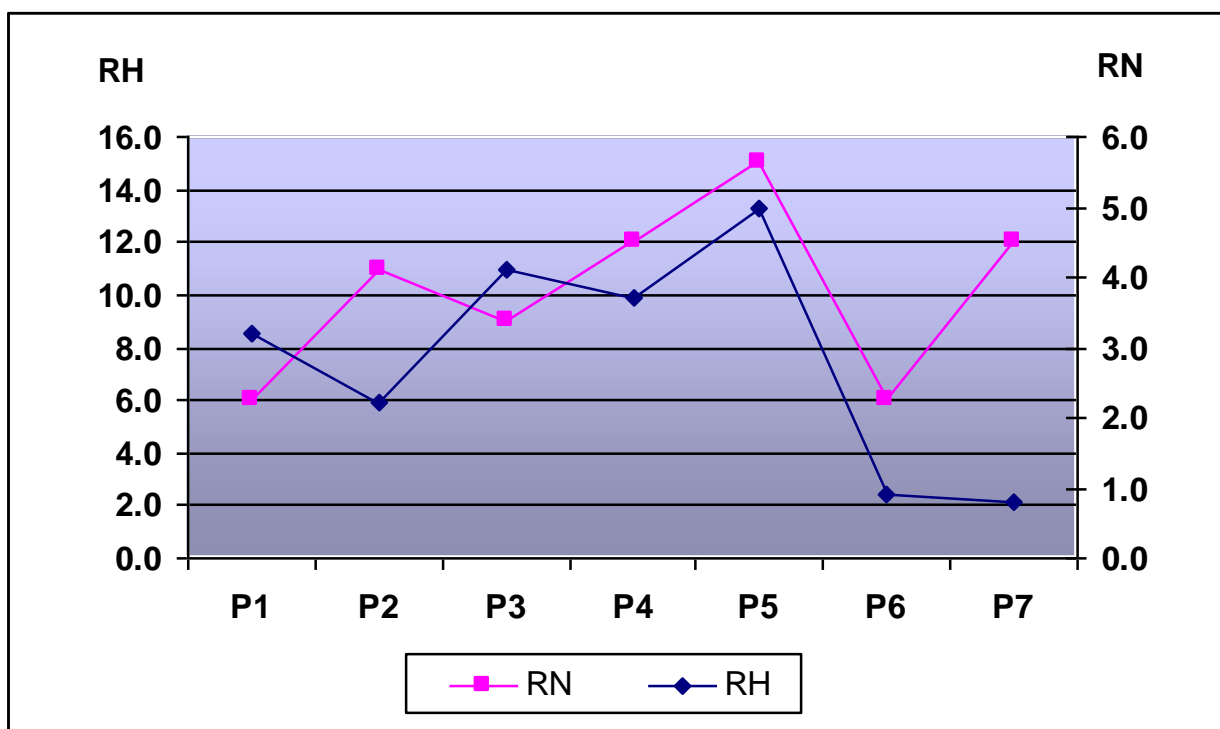


Gráfico 4.3 – Comparação da amplitude para flexibilidade de máquina

4.3.2.2 – Análise de Uniformidade (U)

Uma vez que, para o dimensionamento da flexibilidade, é necessária a determinação de um novo ambiente (ou mudança potencial), a determinação do potencial ambiente futuro será estimada por uma mudança no mix de mercados. Esta estimativa baseia-se na perda do mercado europeu para outras plantas do grupo na Europa e um aumento nas vendas para o mercado de reposição

americano, asiático e africano. Desta forma, cria-se um ambiente novo hipotético que determina o novo tamanho médio de lote. Com os parâmetros da área de logística, que atua junto ao planejamento de vendas, foi estimado o potencial lote médio futuro, conforme demonstra a tabela 4.8.

	Plantas						
	1	2	3	4	5	6	7
Lote médio atual (peças)	2300	5900	1800	2300	2500	2900	3500
Lote médio potencial no ambiente futuro (peças)	2300	4500	1400	1800	2200	1550	3200

Tabela 4.8 – Novo lote médio potencial

A figura 4.1 apresenta graficamente o comportamento da eficiência da “máquina gargalo” das plantas P1 a P7, representadas respectivamente pelas curvas T1 a T7. Vale salientar que a máquina menos flexível, sob o conceito utilizado neste trabalho, não é necessariamente a máquina mais sensível ao impacto do tamanho do lote, pois o fator determinante é o potencial ambiente futuro definido para a planta onde a máquina é aplicada. Assim, se não existir no ambiente potencial 2, uma redução no tamanho médio dos lotes de fabricação, esta máquina poderá ser considerada suficientemente flexível para o negócio.

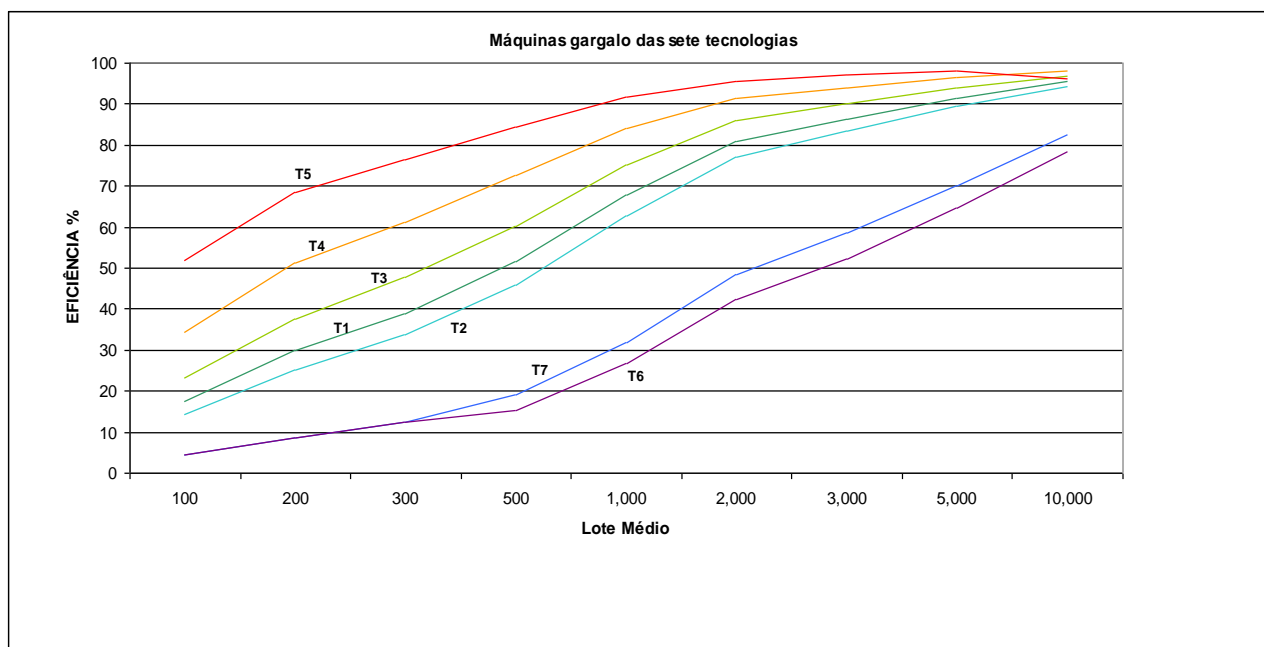


Figura 4.1 – Comportamento da eficiência das máquinas gargalo nas sete plantas

Pode-se notar que, a “máquina gargalo” mais sensível à redução do tamanho do lote médio está localizada na planta 6. O detalhamento do método proposto é feito sobre esta planta, com a determinação da eficiência ξ_1 e ξ_2 por intermédio do lote médio atual e potencial futuro, conforme ilustra a figura 4.2.

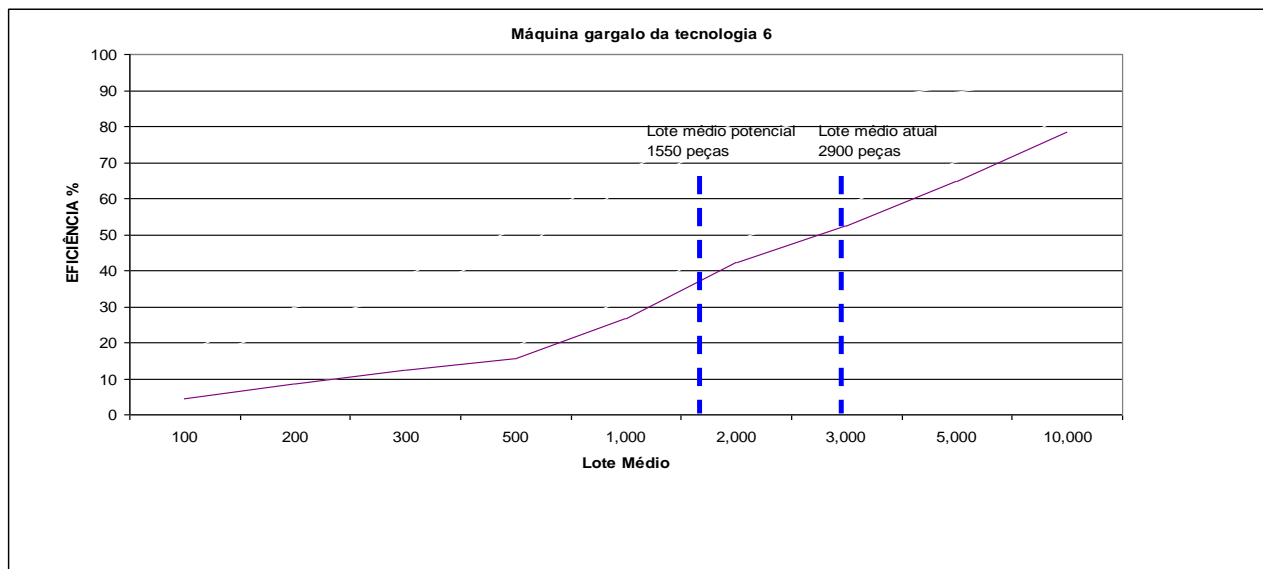


Figura 4.2 – Impacto do tamanho médio do lote para a planta seis

Aplicando-se o mesmo procedimento para as sete plantas, temos os resultados de uniformidade para a flexibilidade de máquina, conforme indicado pela tabela 4.9.

	Plantas						
	1	2	3	4	5	6	7
T_{st} (horas)	0,5	0,5	0,4	0,6	0,6	0,45	0,55
Top_1 (horas)	2,4	4,3	2,0	4,7	6,4	0,8	1,1
Top_2 (horas)	2,4	3,2	1,6	3,7	5,6	0,43	1,0
ξ_1	0,83	0,90	0,83	0,89	0,91	0,64	0,67
ξ_2	0,83	0,86	0,79	0,86	0,90	0,49	0,65
MFu	1	0,96	0,95	0,97	0,99	0,77	0,97

Tabela 4.9 – Resultado comparativo da flexibilidade de máquina

4.3.2.3 – Análise da mobilidade (M)

Uma vez que se busca, equacionar o tempo necessário para adequar a eficiência aos patamares anteriores à mudança, é necessário primeiro avaliar o comportamento da uniformidade. Com os resultados da uniformidade, identifica-se que apenas a planta 1 possui total flexibilidade, e em função do ambiente futuro estável em relação ao tamanho médio dos lotes de fabricação, todas as outras seis plantas necessitam de ações para readequar sua eficiência.

A forma para estimar o tempo necessário para readequar a eficiência, é executar uma relação das potenciais ações, ou projetos de investimento, que devem ser implementados para a adequação da eficiência, e após análise destes projetos estima-se o tempo necessário para implementação dos mesmos.

Atualmente, muitos destes projetos ainda não foram implantados, devido à sua pouca atratividade econômica, ou por sua complexidade, ou ainda pelo volume de itens a serem alterados entre máquinas e ferramentais de produção. Vale salientar que mais uma vez o método considera o enfoque estratégico, ou seja, uma vez conhecendo a potencial mudança futura, e seu impacto, estes investimentos serão também avaliados levando-se em consideração as perdas de capacidade e os respectivos investimentos para sua manutenção. Para este trabalho leva-se em conta apenas o fator tempo, conforme demonstra a tabela 4.10.

	Plantas						
	1	2	3	4	5	6	7
Existem projetos potenciais para adequação da eficiência?	sim	não	sim	Sim	Sim	sim	não
Tempo em semanas	45	-	15	25	25	15	-
<i>MFm</i>	0,33	0	1	0,6	0,6	1	0

Tabela 4.10 – Tempo necessário para adequação da eficiência e *MFm*

Caso sejam feitas outras avaliações futuras, em outras empresas similares para “benchmark”, o tempo de referência para avaliação da mobilidade deverá ser o mesmo. Assim, para o valor de máxima flexibilidade (1), utilizou-se um tempo de readequação da eficiência de 15 semanas.

4.3.2.4 – Conclusão sobre a flexibilidade de máquina

Mesmo sendo a planta 5 a mais complexa, a mesma apresenta um bom nível de uniformidade. A menor complexidade está na planta 7, que por não ter projetos definidos para redução do tempo de troca de tipos, ficou prejudicada na avaliação da mobilidade. É também possível diagnosticar que, em caso de grande redução de tamanho dos lotes, as plantas 6 e 7 serão as mais afetadas devido a grande perda de eficiência em relação ao tamanho de lote produzido, mas só será um problema a partir de uma outra configuração de potencial ambiente futuro, pois na situação prevista até o momento para o potencial ambiente 2, as perdas são menos significativas.

Apesar de verificar-se que a maior flexibilidade está na planta 1, isto foi consequência da estabilidade prevista neste ambiente. Resultados ilustrados no gráfico 4.4.

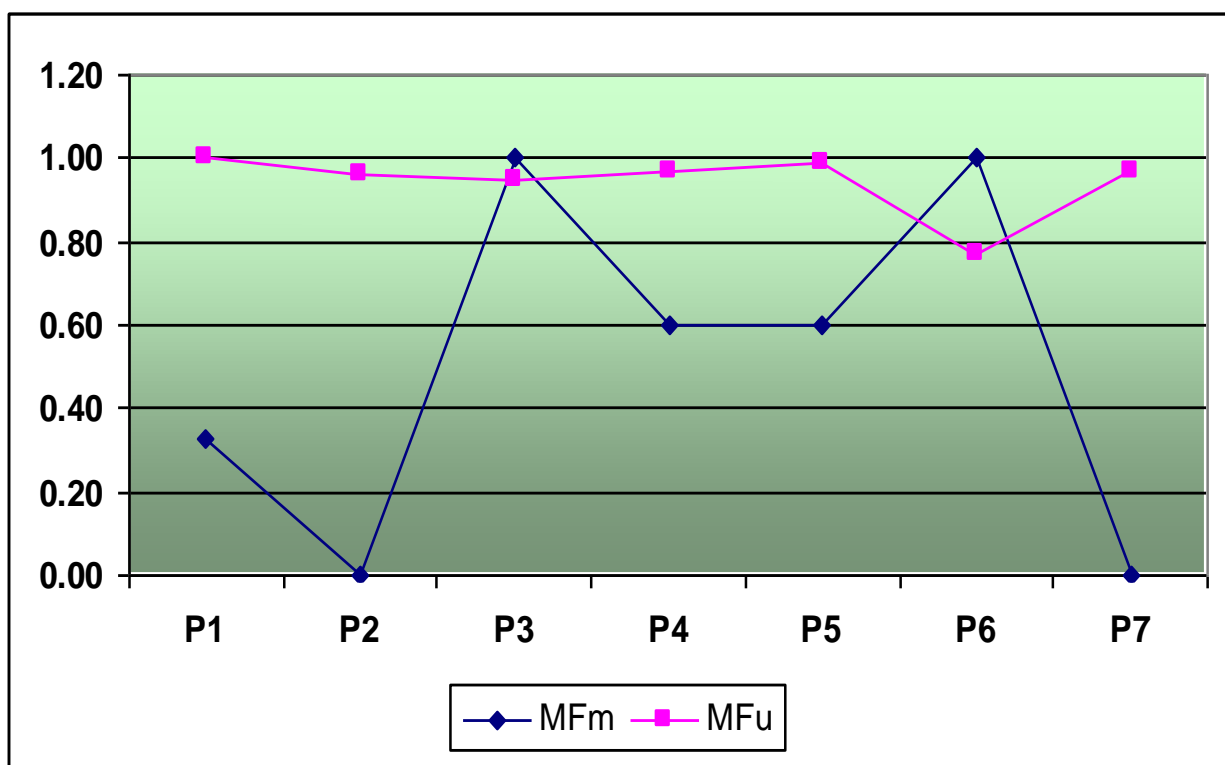


Gráfico 4.4 – Resultado comparativo da mobilidade e uniformidade para a flexibilidade de máquina

4.3.3 – Flexibilidade de mão de obra direta (DLF)

4.3.3.1 – Análise dos parâmetros RN e RH

A tabela 4.11 apresenta os valores obtidos para RN e os valores de RH em cada planta. O valor de RH é resultado da média dos parâmetros de controle entre os produtos mais simples e mais

complexos. O gráfico 4.5 auxilia na conclusão, identificando a planta 4 como sendo a mais complexa, e a planta 6 a de menor complexidade.

	PLANTA						
	1	2	3	4	5	6	7
RN	2,8	1.9	2.4	3.2	2.9	1.4	2.0
RH	6,5	9	8	11	11	5,5	6,5

Tabela 4.11 – Resultado de RN e RH

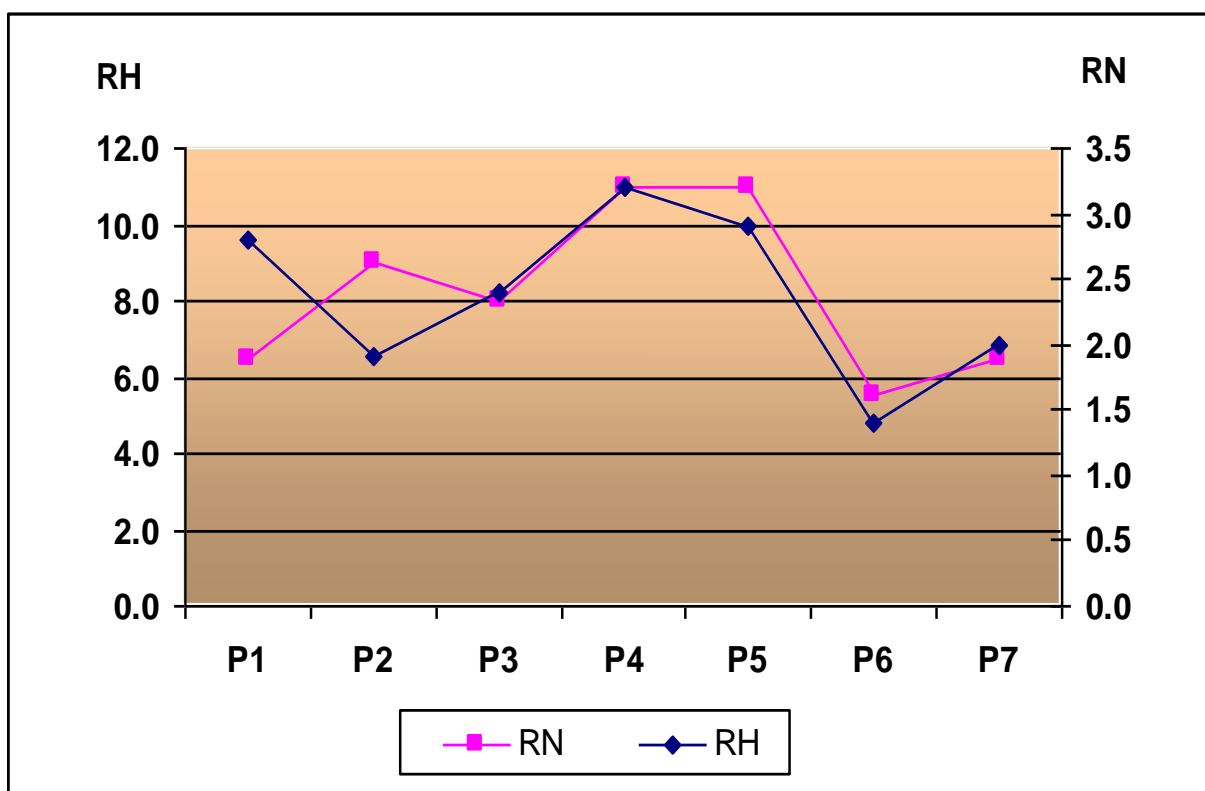


Gráfico 4.5 – Resultado comparativo da amplitude para a flexibilidade da MOD

Conforme o gráfico 4.5, apesar de ter sido identificado um fator 2 para a amplitude RN na planta 7, deve-se observar que isto é decorrência da existência de apenas duas diferentes operações na célula. Se RN auxilia na interpretação do nível de complexidade gerencial, neste tipo de interpretação permite, também, concluir que a planta 7 possui uma excelente flexibilidade potencial para a MOD.

4.3.3.2 – Análise da Mobilidade (M)

A mobilidade não é quantificada, pois no ambiente estudado não existe o controle específico deste tempo para movimentação da MOD. A movimentação existe, e pode ser classificada como freqüente, porém este controle será feito apenas futuramente. Deverão ser criados registros específicos de capacitação da MOD, por operação, de forma a agilizar a identificação de pessoas capacitadas para as diferentes tarefas.

4.3.3.3 – Análise de Uniformidade (U)

Será utilizada apenas a célula, como potencial área de rotatividade da MOD entre as operações. Quanto à análise da eficiência ou flexibilidade em relação às outras plantas, necessita de uma avaliação da real necessidade de execução desta rotação de MOD e com que freqüência isto ocorre, ou seja, com uma melhor avaliação da necessidade de rotação da MOD entre as plantas P1 a P7, será mais precisa a definição de investimentos neste treinamento mais abrangente.

A tabela 4.12 apresenta os resultados comparativos com valores reais de eficiência experimentados, sem critério definido para escolha do recurso humano (MOD) alternativo. É possível concluir que a aleatoriedade de escolha da MOD gerou, em alguns casos, um ganho de eficiência. Assim, pode-se reduzir esta aleatoriedade estabelecendo critérios de escolha desta MOD para comparação de eficiência, assegurando que a MOD rotulada de “efetiva”, realmente possui o melhor nível de capacitação. Caso esta sistemática se torne muito complexa para ser gerenciada, pode-se aplicar métodos estatísticos para este equacionamento.

	PLANTA						
	1	2	3	4	5	6	7
ξ_1	0,72	0,79	0,94	0,88	1,01	0,81	0,92
ξ_2	0,77	0,81	0,78	0,88	0,88	0,77	0,96
<i>DLFu</i>	>1	>1	0,83	1	0,87	0,95	>1

Tabela 4.12 – Resultado comparativo da flexibilidade da MOD

Este conceito exige a definição das operações para as quais deve existir um número maior de pessoas capacitadas, e o grau de importância destas operações para com a eficiência da célula pode auxiliar na definição do nível de capacitação desejada. Assim, se os investimentos em treinamento são focados na flexibilidade da MOD, este investimento pode ser otimizado por este critério e as metas de capacitação, certamente, serão mais fáceis de serem atingidas.

4.3.3.4 – Conclusão sobre a flexibilidade da MOD (DLF)

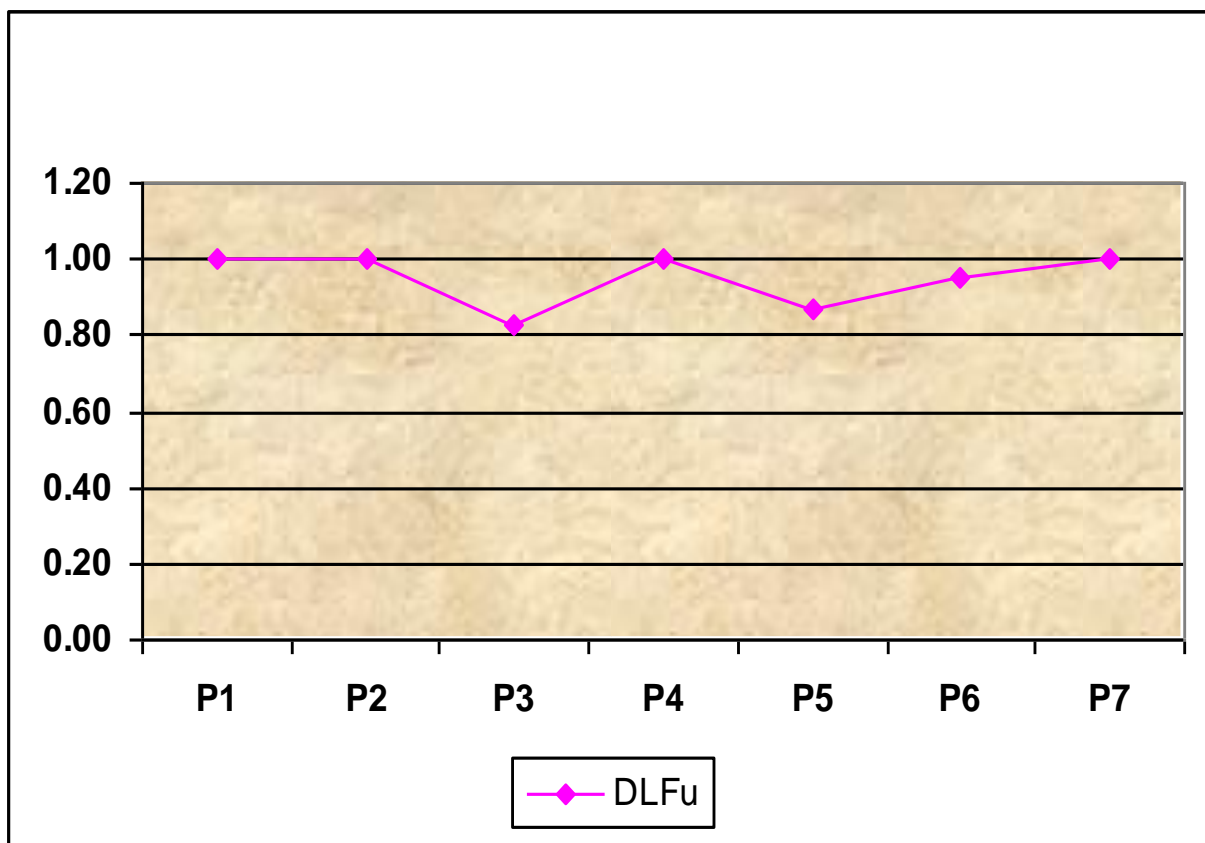


Gráfico 4.6 – Resultado comparativo da uniformidade para a flexibilidade de MOD

As plantas 4 e 5 apresentam o ambiente mais complexo dentre as plantas, e um dos maiores índices de operadores multifuncionais. Apesar de verificar no gráfico 4.6, que existem algumas plantas com fator de total flexibilidade (maior ou igual a um), deve-se observar que o método de avaliação foi instantâneo. A medição mais adequada seria o acompanhamento por um período mais longo, onde as outras influências de método certamente tornariam o resultado mais confiável. Na

planta 6, foi observada uma prática maior desta rotatividade da MOD entre as duas operações da célula, e por este motivo oferece maior consistência ao resultado.

Assim, fica como proposta a introdução de um sistema estruturado de treinamento baseado nesta filosofia, definindo para quais operações a multifuncionalidade será realmente necessária. Provavelmente, a melhor capacitação seria exigida dos operadores alternativos para os gargalos da célula.

A partir deste contexto, pode-se utilizar apenas a medição potencial da flexibilidade como parâmetro de avaliação da eficácia dos treinamentos e como sustentação das regras que definiram o nível de treinamento necessário dentro do sistema da qualidade. Em outras palavras, certamente não seria eficaz crer que toda a MOD precisa receber um treinamento em todas as operações, pois isto seria muito caro tanto no treinamento e por consequência na remuneração. Deve-se então definir quais operações necessitam de mais MOD treinada para sua execução e monitorar apenas estes no sistema de qualidade.

Outro aspecto relevante é a possibilidade de uma definição da flexibilidade potencial da MOD na planta, célula ou na mini fábrica, comparando-se o fator RN com o número de diferentes operações existentes na mesma. Como exemplo de máxima flexibilidade potencial cita-se a planta sete, que apesar de um RN igual a dois possui somente duas operações na célula. Tal comparação permite concluir que a MOD existente na célula pode desenvolver qualquer uma das operações existentes na célula, permitindo uma ação mais rápida quando necessário (maior mobilidade). O limite de utilização deste conceito pode ser definido por aspectos econômicos.

Quando o recurso humano é colocado como variável de um sistema, deve-se sempre levar em conta as influências que a postura da liderança, políticas de treinamento e de premiação podem trazer ao resultado do sistema.

4.3.4 – Flexibilidade de roteamento

4.3.4.1 – Análise dos parâmetros RN e RH.

Conforme já comentado, existem duas situações a serem consideradas. Uma delas é aplicada aos produtos que são concluídos em uma única célula (chamados de fase única) e assim o fator determinante para a amplitude RH é a existência de mais de uma célula dedicada à estes produtos. Neste primeiro grupo se enquadram as plantas 1, 2, 6 e 7. Para estes casos os parâmetros RN e RH são apresentados na tabela 4.13.

Amplitude	PLANTAS			
	1	2	6	7
Numero de células similares	4	2	4	2
Numero de produtos envolvidos	2.832	728	451	224
RN	2832	728	451	224
RH	4	2	4	2

Tabela 4.13 – RN e RH para produtos de fase única

Na segunda situação, temos as plantas 3, 4 e 5, cujos produtos são executados em mais de uma fase ou célula. Na tabela 4.14 temos o número de células similares disponíveis em cada etapa deste fluxo.

Etapa do processo	Numero de células similares disponíveis		
	Planta 3	Planta 4	Planta 5
Fase 1	2	5	2
Fase 2	1	1	1
Fase 3	2	2	1

Tabela 4.14 – Número de células similares por planta e fase

A tabela 4.15 apresenta os parâmetros RN e RH, cuja definição é feita por meio das diferentes rotas possíveis, entre as três fases do processo de fabricação. O gráfico 4.7 ilustra a complexidade comparativa entre as plantas para a flexibilidade de roteamento, onde tem-se as plantas 1 e 4, com os maiores níveis de complexidade.

VARIÁVEIS	PLANTAS		
	3	4	5
Número de produtos envolvidos	859	1118	388
RN	859	1118	388
RH	4	10	2

Tabela 4.15 – Parâmetros RN e RH das plantas três, quatro e cinco

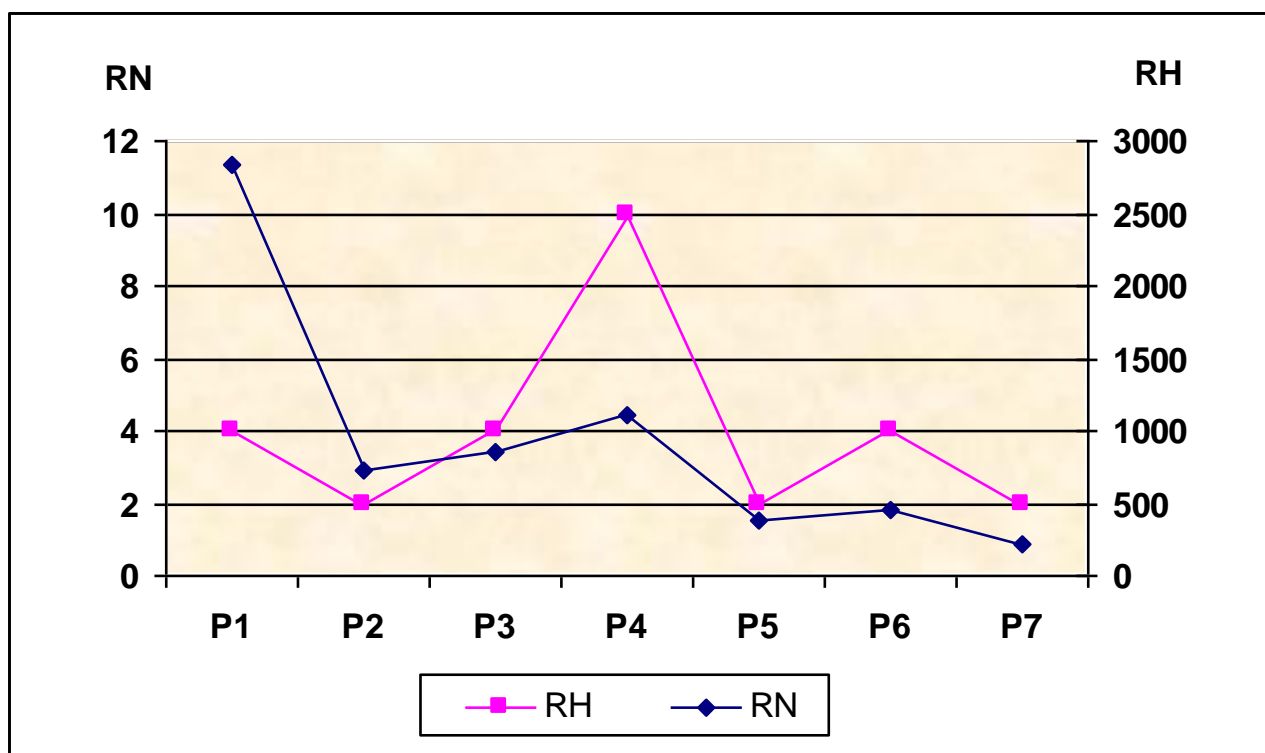


Gráfico 4.7 – Resultado comparativo da amplitude para a flexibilidade de roteamento

4.3.4.2 – Análise da Mobilidade (M)

No ambiente estudado este tipo de decisão, de transferir um lote entre células, é tomada com pelo menos um dia de antecedência, por meio do sistema de programação utilizado no piso de fábrica. Considerando-se que isto é feito antes da entrada do produto na célula, e que o sistema trabalha atualmente com um tempo de espera de 1 dia antes da célula, e sendo que isto ocorre em

tempos inferiores à 30 minutos, considera-se este parâmetro como irrelevante para o resultado do sistema.

4.3.4.3 – Análise de Uniformidade (U)

No ambiente estudado as células são idênticas, e executam produtos similares, desta forma não faz sentido estudar a diferença de eficiência pela simples troca de célula. Os fatores operacionais que podem influenciar na eficiência, são os contemplados na gestão do piso de fábrica e que já foi justificada sua não inclusão neste trabalho.

4.3.4.4 – Conclusão sobre a flexibilidade de roteamento (RF)

Foi evidenciado que esta dimensão da flexibilidade não é relevante para o ambiente avaliado, devido ao seu processo envolver equipamentos especiais, específicos para aquele tipo de processo, limitando as opções de roteamento às células similares existentes. Porém, uma oportunidade identificada foi a alternativa de unificação da gestão das plantas três, quatro e cinco numa única organização e programação.

Esta proposta de organização tem por objetivo permitir um melhor aproveitamento dos equipamentos e da MOD envolvida no processo. É claro que a complexidade de administração será aumentada juntamente com os parâmetros RN e RH, que terão seus valores bastante alterados devido ao maior número de alternativas de roteamento que surgirão. A flexibilidade de expansão também será aumentada devido ao aumento da capacidade produtiva do novo sistema identificado.

4.4 – Conclusão do estudo de caso

A tabela 4.16 apresenta o resultado comparativo entre as plantas para as diferentes dimensões aplicadas no ambiente escolhido. A planta 6 foi identificada como sendo a planta de maior flexibilidade pela média dos valores da mesma, e a planta 7 a de menor flexibilidade média. Além disto, é possível observar que em geral não se coloca a MOD como fator restritivo ao ambiente futuro, ou seja, a MOD apresenta suficiente flexibilidade em todas as plantas. Na linha horizontal é possível notar que um dos menores valores médios entre plantas está relacionado à expansão.

Valor médio obtido entre as plantas	Item estudado no ambiente	Plantas						
		1	2	3	4	5	6	7
69,2%	Mobilidade na flexibilidade de expansão (<i>EFm</i>)	100%	59%	72%	43%	68%	100%	43%
88,6%	Uniformidade na flexibilidade de expansão (<i>EFu</i>)	89%	97%	93%	88%	88%	80%	85%
59%	Mobilidade na flexibilidade de máquina (<i>MFm</i>)	33%	0	100%	60%	60%	100%	0
94,4%	Uniformidade na flexibilidade de máquina (<i>MFu</i>)	100%	96%	95%	97%	99%	77%	97%
95%	Uniformidade na flexibilidade da MOD (<i>DLFu</i>)	100%	100%	83%	100%	87%	95%	100%
Valor médio de cada planta		84,4%	69,6%	88,6%	77,6%	80,4%	90,4%	65%

Tabela 4.16 – Resultado percentual das dimensões aplicadas

As plantas 4 e 7 apresentam o menor índice de mobilidade, o que significa que a empresa deve investir na redução do tempo necessário para a expansão da capacidade nestes casos, pois sabendo que um conjunto de componentes para um motor é composto por peças fabricadas em mais de uma planta, não colherá os benefícios da elevada flexibilidade das outras plantas.

É clara a necessidade de investimento em métodos de manufatura mais flexíveis para a planta 6, no intuito de evitar perdas no futuro com a redução média do tamanho dos lotes de produção. Muito embora a viabilidade deste investimento não seja discutida neste trabalho, a partir de um certo nível de competitividade do mercado, onde está inserida a empresa, a mesma pode ser obrigada a investir em tecnologias mais flexíveis para assegurar sua participação no mercado futuro, ou em algum segmento específico onde deseja penetrar. A partir deste enfoque, este investimento assume um caráter estratégico e não somente econômico.

Capítulo 5

Conclusão

5.1 – Conclusão do trabalho sob o ponto de vista do estudo de caso

ZUNKIN E DALCOL (2000) concluíram em sua pesquisa, realizada no Brasil, que as empresas do ramo eletrônico, não utilizam técnicas para melhoria da flexibilidade com a mesma intensidade que observam a crescente importância competitiva deste atributo. O Brasil exerce hoje um papel relevante no ambiente internacional, porém tem como característica o baixo custo da mão-de-obra, que torna difícil justificar economicamente os investimentos em equipamentos e sistemas complexos como um FMS. Neste ambiente, a flexibilidade deve ser obtida com uma grande especialização da mão-de-obra direta, e gestão das características de cada sistema de manufatura. Em função deste fato, não se pode apenas justificar e manter a indústria fora deste “jogo”, deve-se sim desenvolver métodos que permitam otimizar os sistemas não classificados como FMS, para competirem na sua melhor forma neste ambiente.

Numa análise da abrangência do estudo de caso efetuado, das dimensões da flexibilidade identificadas no ambiente de manufatura, dentro do escopo definido para esta pesquisa, foram aplicadas apenas quatro no ambiente escolhido por motivos já apresentados. A flexibilidade de volume não foi estudada neste ambiente, devido seu enfoque econômico na literatura pesquisada, mas os conceitos utilizados para análise da flexibilidade de expansão poderão ser adaptados e utilizados também para esta dimensão.

Como uma oportunidade de melhoria nos índices de flexibilidade, baseado nos conceitos que foram aplicados é possível afirmar que uma nova organização administrativa para as plantas 3, 4 e 5, colocando-as sob uma mesma gestão, traria melhoria nos índices de flexibilidade de expansão, MOD, máquina e volume.

Esta afirmação baseia-se no fato de que existem hoje plantas com as mesmas características funcionais sob diferente administração, e independente de qualquer outra sinergia que possa ser criada, cada planta acaba operando sob determinadas taxas de ocupação de fábrica sem que os recursos estejam otimizados para tal. A tabela 5.1 apresenta a justificativa para a redução do número de plantas pela junção da administração. A similaridade do roteamento entre processos é a grande justificativa para tal, sendo que a partir daí, pelo próprio tamanho desta planta os fatores de RN e RH seriam significativamente alterados.

Etapa do processo	Plantas						
	1	2	3	4	5	6	7
Conformação à frio						x	x
Célula tipo 1	x	x	X	X	X		
Processo de cobertura			X	X	X		x
Bloqueio de retificação			X	X	X		
Célula tipo 2			X	X	X		
Célula tipo 3			X	X	X		
Célula tipo 4							x

Tabela 5.1 – Proposta de agrupamento entre plantas

Uma vez que este trabalho refere-se à flexibilidade externa, o seu resultado será alterado sempre que for desenhado um novo potencial ambiente futuro. Esta análise deve ser refeita periodicamente, sempre que o ambiente externo mostrar alterações que justifiquem uma mudança do potencial ambiente futuro.

Existem também motivadores internos que podem obrigar que a avaliação seja refeita. Estes motivadores podem estar relacionados às novas tecnologias de manufatura, ampliações de planta efetuadas ao longo do tempo, melhoria dos índices de performance relacionados a eficiência, e outros.

Baseado nos resultados obtidos na análise da flexibilidade de expansão, conforme demonstra o gráfico 4.2, é possível concluir que as plantas 2, 4 e 7 devem operar com uma ociosidade da capacidade instalada disponível, pois as mesmas não são capazes de expandir sua

capacidade produtiva com a mesma velocidade que o mercado pode reagir. Além disto, devem ser priorizados os trabalhos para melhoria da flexibilidade de máquina, onde, resumidamente, trata-se da diminuição do tempo necessário para troca de tipos na máquina.

Muito embora os valores de flexibilidade de máquina estejam em patamares bastante razoáveis, verificando a figura 4.1, chama a atenção os baixos valores de eficiência na produção de pequenos lotes. Deve-se manter o foco dos investimentos para melhoria desta dimensão, uma vez que esta necessidade também se evidencia pelo fato que 50% do faturamento do negócio é gerado no mercado de reposição, mercado este que mais exige flexibilidade para produção de pequenos lotes. É uma conclusão que o ambiente futuro potencial irá gerar uma perda de performance, pois para que isto não ocorresse, seria necessário que todos os fatores de flexibilidade resultassem em valores igual ou maiores que um (1). Novamente fica caracterizado o valor estratégico destes conceitos aplicados, que podem auxiliar inclusive na criação de estrutura virtual de custeio, simulando a eficiência em ambiente futuro, para os novos valores gerados pela mudança prevista do sistema .

Em função do elevado investimento necessário para aumentar a flexibilidade em todas as plantas, pode-se utilizar como referência o trabalho publicado por VENKATESAN (1990), que descreve o desenvolvimento de um projeto de flexibilização do sistema de manufatura de uma unidade da empresa Cummins Engine Company. Esta empresa americana fabricante de motores diesel, localizada no estado de Indiana, utilizou uma organização fabril, que além da separação de minifábricas por produtos, criou uma subdivisão em grupos definidos por tamanho típico de lote de produção. Este conceito organizacional possibilitou uma redução nos investimentos necessários, uma vez que os pequenos lotes foram redirecionados para células que tiveram sua total reorganização para este ambiente.

Outro aspecto que deve ser levado em conta para a análise da viabilidade deste conceito, é o fato de que uma mini-fábrica que possui células similares pode permitir a aplicação de um segundo nível de tecnologia de grupo e, conseqüentemente, os investimentos em flexibilidade serão feitos em um menor número de células. Por exemplo, sabendo que a planta um possui quatro células similares, pode-se definir apenas uma destas células para o processamento de lotes pequenos e nesta, efetuar os investimentos em sistemas de troca rápida. O mesmo poderá ser feito para as plantas três, quatro e cinco com a união destas em uma única planta, conforme já comentado. Para os itens onde o roteiro de fabricação somente contempla células unitárias, ou seja, não existem células similares, a proposta é a criação de uma única mini-fábrica que poderá executar estes itens numa organização de layout funcional, criando assim também uma alternativa de roteamento para o sistema. O anexo 4 apresenta esta proposta já equacionada para o negócio, numa área e organização já definidas, ilustrando o fluxo de lotes de produção que migrariam para a nova célula.

Uma vez que a empresa atua no mercado como um fornecedor de sistemas, ou seja, fornecendo o um conjunto de componentes montado, pode-se analisar a flexibilidade comparativa entre as fábricas que produzem estes diferentes componentes. Tal comparação evitaria o investimento na obtenção de flexibilidade nas fábricas que já possuem um bom índice de flexibilidade.

Na tabela 5.2 são apresentadas algumas das características desejáveis no projeto do processo, para uma melhor obtenção de flexibilidade. A proposta é feita por GERWIN (1987), e envolve algumas dimensões não estudadas. Observa-se uma certa generalidade de características para diferentes dimensões, mas que de certa forma foram exploradas na aplicação.

Tipo de flexibilidade	Características da MOD	Características dos equipamentos
MIX	Conhecedor de operações variadas	Baixo grau de especialização, podendo ser aplicado em diferentes operações
PRODUTO	Habilidade com diferentes produtos e para aprendizado de novas tarefas	Pequeno grau de automação
MODIFICAÇÃO	Habilidade para mudança rápida de procedimentos	Dispositivos flexíveis de simples alteração
REROTEAMENTO	Estrutura em grupo	Manter redundância de equipamentos ou máquinas
VOLUME	Especialidades variadas mantidas fora da linha de produção	Capacidade elevada e com limites ajustáveis
MOVIMENTAÇÃO DE MATERIAIS	Estrutura de grupo com especialidade variada em manutenção e detecção de defeitos	Mecanismos que permitam ajustes e correções
ROTEAMENTO	Especialidades variadas, e controle do balanceamento da linha feito pelo Líder	Sistemas de troca rápida

Tabela 5.2 – Características desejáveis para melhoria da flexibilidade

A multifuncionalidade da MOD é uma característica predominante na obtenção da flexibilidade, o que confirma a necessidade da empresa implementar uma política de remuneração baseada na obtenção de múltiplas especialidades, motivando a MOD na obtenção desta flexibilidade. Mesmo sem ter isto implantado, nas medições efetuadas, esta foi a dimensão com melhor índice médio, e possui também o potencial de melhorar a flexibilidade de expansão, dentro dos conceitos adotados neste trabalho. Deve-se também buscar o maior envolvimento da MOD nos aspectos relacionados à flexibilidade de máquina.

Uma série de considerações são feitas por GERWIN (1993) que auxiliam na gestão dos aspectos relacionados à flexibilidade, tanto na sua obtenção como utilização. Alguns destes aspectos, ainda não comentados, são relacionados abaixo:

- Flexibilidade não é somente uma forma adaptativa para responder ao mercado, mas também deve ser perseguida por sua função pró-ativa, criando incertezas e situações que não poderão ser seguidas pelos competidores.
- Relacionando-se as diferentes incertezas enfrentadas pelos gerentes, tem-se a lista ideal das flexibilidades que devem ser perseguidas pelo negócio.
- Se as incertezas do mercado tem aumentado nos últimos anos, flexibilidade assume a mais significativa dimensão para o negócio.
- A análise entre flexibilidade requerida, atual e potencial é fundamental para a redefinição das necessidades relacionadas a cada dimensão da flexibilidade.
- A identificação do excesso de flexibilidade e a eliminação do mesmo é tão importante quanto a criação onde necessário.

O fato da flexibilidade, não estar sendo tratada no projeto de novas máquinas e equipamentos, deve ser equacionado. Uma vez que as dimensões relevantes para o sistema foram identificadas, e uma metodologia de equacionamento foi criada, basta então o monitoramento dos potenciais ambientes futuros como diretriz para condução dos novos projetos de máquinas e equipamentos.

Apesar de estar registrado como proposta para pesquisas futuras, é importante salientar que a definição do sistema de planejamento pode afetar a flexibilidade do sistema pelo seu aspecto conceitual, sendo este um sistema de “puxar” (JIT) ou um sistema de “empurrar” (MRP). Somado a este aspecto, a política de estoques deve ser definida de forma coerente com o nível de flexibilidade do sistema, impedindo assim que a perda de eficiência do sistema aumente seu custo resultante. SLACK (1992) discute a complexidade envolvida nestas decisões, e propõe algumas alternativas.

Esta metodologia proposta para o equacionamento destas quatro dimensões da flexibilidade em ambiente celular, é uma ferramenta estratégica. Sua utilização permite identificar obstáculos a serem superados em situações futuras e definir procedimentos adequados para um grande número de atividades, assegurando uma superação adequada destes obstáculos no âmbito operacional ou de marketing. É também, uma forma organizada de planejamento para os investimentos futuros, assegurando o atendimento ao cliente final.

5.2 – Conclusão do trabalho desenvolvido sob o ponto de vista dos objetivos definidos

Por intermédio da bibliografia pesquisada, foi possível concluir que um significativo avanço foi feito na pesquisa relacionada à flexibilidade na manufatura ao longo dos últimos 10 anos. No entanto, muito ainda resta para ser feito, principalmente se levarmos em consideração que grande parte dos trabalhos desenvolvidos estão focados em FMS, que representam no mundo uma pequena parcela dos sistemas de manufatura existentes. As interfaces existentes entre o ambiente e as estratégias internas, a organização, a tecnologia, são variáveis que uma vez bem equilibradas entre si e seus objetivos, podem gerar uma grande vantagem competitiva criando o atributo da flexibilidade de uma maneira efetiva. Ao mesmo tempo, metodologias e projetos de melhoria devem ser feitos para validar os conceitos, permitindo uma sólida aplicação em trabalhos futuros. O endereçamento destas questões irá permitir uma completa compreensão do que está em torno deste complexo processo da flexibilidade na manufatura.

Conforme havia sido estabelecido, foram identificados na literatura os conceitos e definições da flexibilidade na manufatura, expondo suas dimensões e o que encontra-se disponível na literatura sobre seu dimensionamento. Foram colocadas suas dimensões e o dimensionamento da flexibilidade sob um conceito unificado para sua avaliação. Foi desenvolvida uma aplicação prática, onde no decorrer da mesma buscou-se complementar alguns dos conceitos disponíveis e propor algumas formas de quantificação para o ambiente celular estudado.

A metodologia proposta para análise da flexibilidade em ambiente celular mostrou-se bastante prática e permite conclusões que podem direcionar a equipe de gestão para a implementação de ações de melhoria, com o seguimento dos indicadores baseados no método. A contribuição deixada por este trabalho pode ser uma diretriz para a continuidade do desenvolvimento deste tema dentro do território nacional, uma vez que não se tem conhecimento de trabalho similar operacionalizando a medição de desempenho deste parâmetro de competitividade. Estes estudos devem ser motivados, uma vez que a única certeza que se pode ter é a contínua mudança e incerteza no ambiente de manufatura.

5.3 – Sugestões para futuras pesquisas sobre o tema

É clara a necessidade de pesquisa no campo da flexibilidade de manufatura devido ao baixo nível de conhecimento disponível sobre o assunto e sua inexpressiva aplicação no campo prático, de forma organizada. Mesmo sendo um atributo de grande importância para a atividade de

manufatura, ainda é tratado no campo prático com grande ambigüidade de conceitos e sem qualquer metodologia que suporte sua utilização ou que garanta esta utilização de forma a alcançar objetivos definidos. São muitos os aspectos não abordados pela literatura, seja para um ambiente FMS ou celular. Nestas sugestões deixadas, o foco principal é acima de tudo prático, e direcionado para os ambientes celulares.

Uma das oportunidades identificadas é a grande ajuda que a simulação computacional pode trazer para os estudos relacionados à flexibilidade de manufatura. Num ambiente celular poderiam ser definidos parâmetros para análise da uniformidade, como por exemplo, a variação de estoque intermediário, tempo de resposta, ou ainda analisar a própria eficiência por meio da parametrização do sistema. Outra vantagem da simulação para análise da flexibilidade é a simplificação matemática para o uso prático, propiciando a tomada de decisão em ambientes mais próximos do piso de fábrica. DAS (1999) apresenta esta discussão para um FMS focando três diferentes tipos de flexibilidade.

Apesar de seu grande impacto sobre algumas dimensões da flexibilidade, não foi encontrada na literatura disponível uma avaliação sobre as diferentes políticas e organizações de manutenção voltadas para a flexibilidade do sistema de manufatura. Como é sabido, existem filosofias consagradas disponíveis para aplicação em diferentes ambientes, como o TPM e o RCM, e além deste aspecto, as áreas de manutenção possuem diferentes organizações nas manufaturas existentes no Brasil, assim, pode-se estudar a existência de correlação entre as diferentes organizações e filosofias sobre algumas dimensões da flexibilidade interna.

Tratando ainda do impacto de decisões diversas operacionais na flexibilidade do sistema, pode-se criar um “check list” orientando as decisões operacionais para uma maior flexibilidade do sistema. Um exemplo que ilustra esta necessidade são as alterações de roteamento entre células sendo feitas sem uma avaliação, sem a verificação da real capacitação da MOD, ou de maiores tempos de troca de ferramental. Mesmo em decisões comerciais, verificando quais as tecnologias que possuem melhor características para serem oferecidas, em diferentes mercados de acordo com o comportamento de cada um deles. Uma análise preventiva nas decisões como proteção a performance voltada à flexibilidade seria de grande utilidade desta ferramenta.

Em função dos custos da MOD em nosso país, os sistemas de manufatura utilizam grande potencial humano em sua operação, sejam eles celulares ou não. A flexibilidade da MOD é fator determinante para o sucesso destes sistemas, justificando então um maior esforço de pesquisa no intuito de tornar esta dimensão mais presente na gestão dos sistemas. Os fatores RN e RH para o estudo desta dimensão devem contemplar o número de variáveis do processo, a complexidade da regulação das máquinas envolvidas, o grau de diferenciação de acordo com o tipo de processo (corte, solda ou usinagem), e outros aspectos que sejam identificados como relevantes para a

diferenciação entre os sistemas. A MOD está presente e influenciando outras dimensões da flexibilidade, e deve-se identificar como introduzir esta variável no estudo das outras dimensões.

Devido ao fato dos estudos de medição de flexibilidade terem sido desenvolvidos para a escolha entre diferentes sistemas FMS, e não voltado propriamente para a gestão da flexibilidade, não foi encontrada na literatura propostas de indicadores para a gestão da flexibilidade. O desenvolvimento deste tipo de indicador faz-se necessário para uma aplicação efetiva da flexibilidade como parâmetro de diferencial competitivo, que deve ser assegurado ao longo prazo.

A indústria de auto peças não tem como característica predominante a fabricação própria de suas máquinas, se caracterizando pela aquisição das máquinas de fornecedores desenvolvidos no mercado nacional e internacional. Partindo-se deste princípio, pode-se afirmar que uma forma de assegurar-se uma boa competitividade em nossa indústria, baseado na flexibilidade, é levar ao conhecimento dos fabricantes de máquinas a questão da flexibilidade sob este enfoque mais preciso e claro. As instituições de pesquisa nesta área podem procurar o SINDMAQ (Sindicato das Industrias Fabricantes de Maquinas) e criar um programa de divulgação entre as empresas ligadas ao órgão.

A maior limitação do trabalho desenvolvido foi a não inclusão do aspecto econômico no dimensionamento da flexibilidade. Sendo o fator econômico o determinante do objetivo do empreendimento empresarial, toda decisão deveria ter o foco direto nesta variável, e não somente na eficiência operacional. A proposta é que uma nova pesquisa seja desenvolvida elevando a medição da flexibilidade para o nível econômico, e permitindo assim uma análise mais conclusiva da real flexibilidade do sistema de manufatura. Colocando-se então a flexibilidade sob uma perspectiva econômica, pode-se incluir a flexibilidade de volume no contexto da pesquisa, e a introdução do conceito de custeio em ambiente futuro, que seria viabilizado por meio da análise da flexibilidade.

Toda empresa que possui unidades de manufatura em diferentes países deve inserir a flexibilidade de expansão entre plantas, em seu sistema de gestão, para se beneficiar de uma gestão unificada de capacidades. Cabe neste sentido uma proposta de sistema de gestão de capacidades produtivas, neste ambiente, levando-se em consideração os aspectos econômicos envolvidos. As outras dimensões da flexibilidade obviamente devem ser consideradas no sistema, a fim de evitar perdas em outras dimensões e competitividade. Mais uma vez, fica evidenciado o estudo da flexibilidade como uma ferramenta de gestão estratégica.

A gestão da flexibilidade no ambiente operacional, sem uma perfeita compreensão da relação existente entre as diferentes dimensões da flexibilidade, é uma tarefa bastante difícil. Pode ser desenvolvida uma pesquisa dando continuidade ao trabalho publicado por PARKER (1999),

aprofundando mais esta questão e complementando o estudo com as dimensões da flexibilidade não contempladas pelo mesmo.

O valor da flexibilidade está na competitividade, e assim, investe-se na sua obtenção até onde necessário for em observações de mercado e “benchmark”. UPTON (1995-2) mostra o quanto pode-se concluir com estudos comparativos de flexibilidade entre empresas do mesmo ramo de negócio, ficando então como proposta a aplicação dos conceitos divulgados neste trabalho, em outras empresas do ramo de auto peças para auxiliar as mesmas no diagnóstico de suas necessidades relacionadas à flexibilidade e investimentos conseqüentes.

Durante a aplicação no ambiente escolhido, deparou-se em vários momentos com decisões voltadas ao sistema de gerenciamento informatizado da manufatura, que trabalha hoje baseado num MRP. Algumas soluções típicas de JIT poderiam também ser aplicadas para a melhoria da flexibilidade do sistema, seguindo-se alguns dos pontos já apresentados por SLACK (1992). Fica assim uma proposta para que o trabalho iniciado por Slack seja continuado para a identificação das efetivas oportunidades relacionadas a flexibilidade do sistema da manufatura, entre as características do JIT e do MRP.

É também necessário, que o trabalho desenvolvido nesta pesquisa efetuada, seja complementado com métodos estatísticos. Um dos pontos que podem ser utilizados, como sugestão para a aplicação de métodos estatísticos, seria o aprimoramento dos critérios utilizados, na definição do potencial ambiente futuro utilizado para a análise da flexibilidade.

É certa a existência de uma série de oportunidades de aprimoramento para as pesquisas voltadas à esta importante característica competitiva. Em vários pontos da pesquisa bibliográfica, e por vários dos autores pesquisados, observa-se que a flexibilidade é compreendida apenas vagamente pelos nossos gestores de manufatura. Trazer este fator de competitividade ao nível operacional e de forma clara, é um trabalho que deve ser focado no longo prazo, permitindo que realmente haja uma gestão eficaz do mesmo.

Bibliografia

- AYLOR,** Stephen E. – Sistemas de Manufatura - http://www.aylor.com/imse_682/html/1wk/backgroundp36.htm - 2000.
- BATEMAN,** N. ; Stockton,D.J. and Lawrence,P. – Measuring the Mix Response Flexibility of Manufacturing Systems – *International Journal of Production Research* – Vol.37, N.4, pp.871-880, 1999.
- BENJAAFAR,** S. – Models for performance evaluation of flexibility in manufacturing systems – *International Journal of Production research* – Vol. 32, N. 6, pp.1383-1402, 1994.
- BOYER,** Kenneth K. e Leong, G. Keong – Manufacturing flexibility at the plant level – *Omega, International journal of management science* – Vol. 24, N.5, pp. 495-510, 1996.
- BRILL,** P. H. and Mandelbaum M. – On measures of flexibility in manufacturing systems – *International Journal of Production Research* – Vol.27, N.5, pp.747-756, 1989.
- BROWNE,** Jim; DUBOIS, Didier; RATHMILL, K.; SETHI, Suresh P.; STECKE, Kathryn E. – Classification of flexible manufacturing systems – *The FMS Magazine* – pp. 114-117 – April 1984.
- CAULLIRAUX,** Heitor Mansur – Índices de medida de flexibilidade – *Produção* – Rio de Janeiro, Vol. 2, N.2, março 1992, pp. 133-143.
- CLARK,** Kim B. – Competing through manufacturing and the new manufacturing paradigm: Is manufacturing strategy passé ? – *Harvard business press* – 1995.
- CHEN,** F. Frank e Adam Jr, Everett E. – The impact of flexible manufacturing systems on productivity and quality – *IEEE transactions os enginnering management* – Vol.38, N. 1, pp. 33-45, 1991.
- CHOI,** Sung-Ho and Kim, Ji-Soo – A Study on the measurement of comprehensive flexibility in manufacturing system – *Computers and engineering* – Vol.34, N.1, pp. 103-118, 1997.
- CORREA,** Henrique Luiz – Linking Flexibility, Uncertainty and Variability in Manufacturing Systems - *Avebury, Ashgate Publishing Limited* – 1994.
- CRYSOLOURIS,** George and LEE, Moshin – An Assessment of Flexibility in Manufacturing Systems – *Manufacturing Review* – vol. 5, n. 2, June 1992.
- DAS,** S. K. and Nagendra, P. – Investigations into the impact of flexibility on manufacturing performance – *International Journal of Production Research* - Vol.31, N.10, pp. 2337 2354, 1993.
- DE TONI,** A. and Tonchia, S. – Manufacturing Flexibility: A literature review – *International journal of production research* – Vol. 36, N. 6, PP. 1587-1617, 1998.

- D'SOUZA**, Derrick E. – Toward a taxonomy of manufacturing flexibility dimensions – *Journal of Operations Management* – N. 18, pp. 577-593, 2000
- DIXON**, J. Robb – Measuring manufacturing flexibility: An empirical investigation – *European Journal of Operation Research* – N.60, pp. 131-143, North Holland 1992.
- DUGUAY**, Claude R.; Landry, Sylvain; Pasin, Federico – From Mass Production to Flexible/Agile Production – *International journal of Operation and Production Management* – Vol.17, N.12, pp. 1183-1195 - 1997.
- FRAZELLE**, Edward H. – Flexibility: A Strategic Response in Changing times – *Industrial Engineering* – March 1986, p. 17-20.
- FERREIRA**, Aurélio Buarque de Holanda – Novo Dicionário da Língua Portuguesa – *Editora Nova Fronteira* – 1ª edição, 1992.
- GERWIN**, Donald – An Agenda for Research on the Flexibility of Manufacturing Process - *International journal of Production and Operation Management* – N.7, pp. 38-49, 1987.
- GERWIN**, Donald – Manufacturing Flexibility: A Strategic Perspective – *Management Science* - Vol. 39, n.4, April 1993.
- GOLDRATT**, Eliyahu M. – A síndrome do palheiro: Garimpendo informações num oceano de dados – *IMAM* – São Paulo 1991.
- GROOTE**, Xavier de – The flexibility of production process: A general framework – *Management Science* – Vol. 40, No. 7, p.933-945, July 1994.
- GUNN**, Thomas G. – As indústrias do Século 21 – *Makron Books do Brasil Editora Ltda* – São Paulo 1992
- GUPTA**, Yash P. and Goyal, Sameer – Flexibility of manufacturing systems: Concepts and measurements – *European Journal of Operation Research* – Vol.43, pp. 119-135, 1989-2.
- GUPTA**, Yash P. – The measurement of manufacturing flexibility – *European journal of Operation Research* – Vol.60, pp. 166-182, 1992.
- GUPTA**, D. – On Measurement and Valuation of Manufacturing Flexibility – *International Journal of Production Research* – Vol.31,N.12, pp.2947-2958, 1993.
- GUPTA**, D. and Buzacott J.A. – A Framework for Understanding Flexibility of Manufacturing Systems – *Journal of Manufacturing Systems* – Vol.8, n.2, p.89-97, 1989.
- GUSTAVSSON**, Sten-Olof – Flexibility and Productivity in Complex Production Processes – *International journal of production research* – Vol.22, N.5, pp.801-808, 1984.
- HYUN**, Jae-ho and Ahn, Byong-Hun – A unifying framework for manufacturing flexibility – *Manufacturing Review* – vol.5,No.4, p.251-260, December 1992.
- JONES**, Robert A. e Ostroy, Joseph M. – Flexibility and Uncertainty – *Review of Economic Studies* – pp. 13-32, 1984.

- JORDAN**, W.C. and **GRAVES**, S.C. – Principles on the benefits of manufacturing process flexibility – *Management science* – vol.41,no.4, april 1995.
- KOSTE**, Lori I., and Malhotra Manoj K. – A theoretical framework for analysing the dimensions of manufacturing flexibility – *Journal of operations management* – N.18, pp. 75-93, 1999.
- KUMAR**, V. Entropic Measures of Manufacturing Flexibility – *International Journal of Production Research* – 25(7), 1987.
- LEEuw**, ACJ and **VOLBERDA**, HW - On the Concept of Flexibility: A Dual Control Perspective – *International Journal of Management Science* – Vol. 24,N. 2, pp. 121-139 - 1996.
- MANDELBAUN**, P.H. and **BRILL**, P.H. - Examples of measurement of flexibility and Adaptativity in manufacturing Systems – *Journal of Operation Research Society* – 40(6) – 1989.
- MONDEN**, Yassuhiro – Produção sem estoques: Uma abordagem prática do sistema de produção da Toyota – *Instituto d movimentação e armazenagem de materiais* – IMAM 1984.
- MILLS**, David E. – Flexibility and firm diversity with demand fluctuations – *International Journal of Industrial Organization* – N.4, pp. 203-215 – 1986.
- NEWMAN**, W. Rocky – Dealing with the uncertainties of manufacturing flexibility: Flexibility, Buffers and Integration – *International Journal of Operations & Production Management* – Vol. 13, N.1, 1993, pp. 19-34.
- PARKER**, Rodney P. – Manufacturing flexibility: Measures and relationships – *European Journal of operational research* – N. 118, pp. 429-449, 1999.
- ROSA**, Eurycibiades Barra – Parâmetros de desempenho: A vantagem competitiva das empresas – *Dissertação de mestrado apresentada à Escola Federal de Engenharia de Itajubá* – 1996.
- SERSON**, Sandra Mindlin – Fábrica Veloz: Um modelo para competir com base no tempo – *dissertação de mestrado Escola Politécnica da Universidade de São Paulo* – Cap. 1, pp. 5, 1996.
- SETHI**, Andrea Krasa e Sethi, Suresh Pal – Flexibility in Manufacturing: A survey – *International Journal of Flexible Manufacturing System* – N. 2, pp. 289-328, 1990.
- SEIFODDINI**, H. and **DJASSEMI**, M. – Determination of a flexibility range for cellular manufacturing systems under product mix variations – *International journal of production research* – Vol.35, N.12, pp. 3349-3366 – 1997.
- SHEWCHUK**, J.P. – A set of generic flexibility measures for manufacturing applications – *International Journal of Production Research* – Vol.37,N.13,pp.3017-3042 – 1999.
- SHEWCHUK**, J.P. – Flexibility and manufacturing system design: an experimental investigation – *International Journal of Production Research* – Vol.38,N.8, pp.1801-1822 – 2000.
- SLACK**, Nigel – The flexibilities of Push and Pull – *International Journal of Operations & Production management* – Vol.2, N.4, pp.82-92, 1992.

- SON**, Young Kyu and **PARK**, Chan S. – Economic measure of productivity, quality and flexibility in advanced manufacturing systems – *Journal of Manufacturing Systems*- vol.6, N.3, pp. 193-207.
- TAHARA**, Cleusa S.; Carvalho, M.M. e Filho, Eduardo V.G. – Revendo a bibliografia recente sobre a formação de células de Manufatura – *Revista Máquinas e Metais* - Janeiro 1997, pag. 64-83.
- TAYMAZ**, E. – Types of flexibility in a Single Machine Production System – *International Journal of Production Research* – 1989, vol.27, no.11, p.1891-1989.
- UPTON**, David M. – The Management of Manufacturing Flexibility – *California Management Review* – pp. 72-89, winter 1994.
- UPTON**, David M. - What Really Makes Factories Flexible? – *Harvard Business Review* – July/August 1995-1, p.74-84.
- UPTON**, David M. – Flexibility as Process Mobility: The Management of Plant Capabilities for Quick Response Manufacturing – *California Journal of Operation Management* – 12,3; pp 205-224, 1995-2.
- VENKATESAN**, Ravi – Cummins Engine Flexes its Factory – *Harward Business Review*- pp. 120-127, March/April 1990.
- VOLBERDA**, H. W. and Leeuw A. C. J. – On the Concept of Flexibility: A Dual Control Perspective – *Omega, International Journal of Management Science* – Vol. 24, N. 2, pp. 121-139, 1996.
- WEMMERLÖV**, U. and **JOHNSON**, D. J. – Cellular Manufacturing at 46 user plants: Implementation experiences and performance improvements – *International Journal of production research* – 1997, vol.35, no. 1, p.29-49.
- XAVIER**, G.G. – Investigating Flexibility and Information Technology as Key Elements for Competitive Advantage – *Produção* – vol 7, n. 2, p. 159-175, 1997.
- ZELENOVIC**, Dragutin M. – Flexibility: A condition for effective production systems – *International journal of production research* – Vol.20, n.3, pp. 319-337, 1982.
- ZUKIN**, Marcio and Dalcol, Paulo R. T. – Manufacturing flexibility: Assessing managerial perception and utilization – *The international journal of flexible manufacturing systems* – N.12, pp.5-23, 2000.

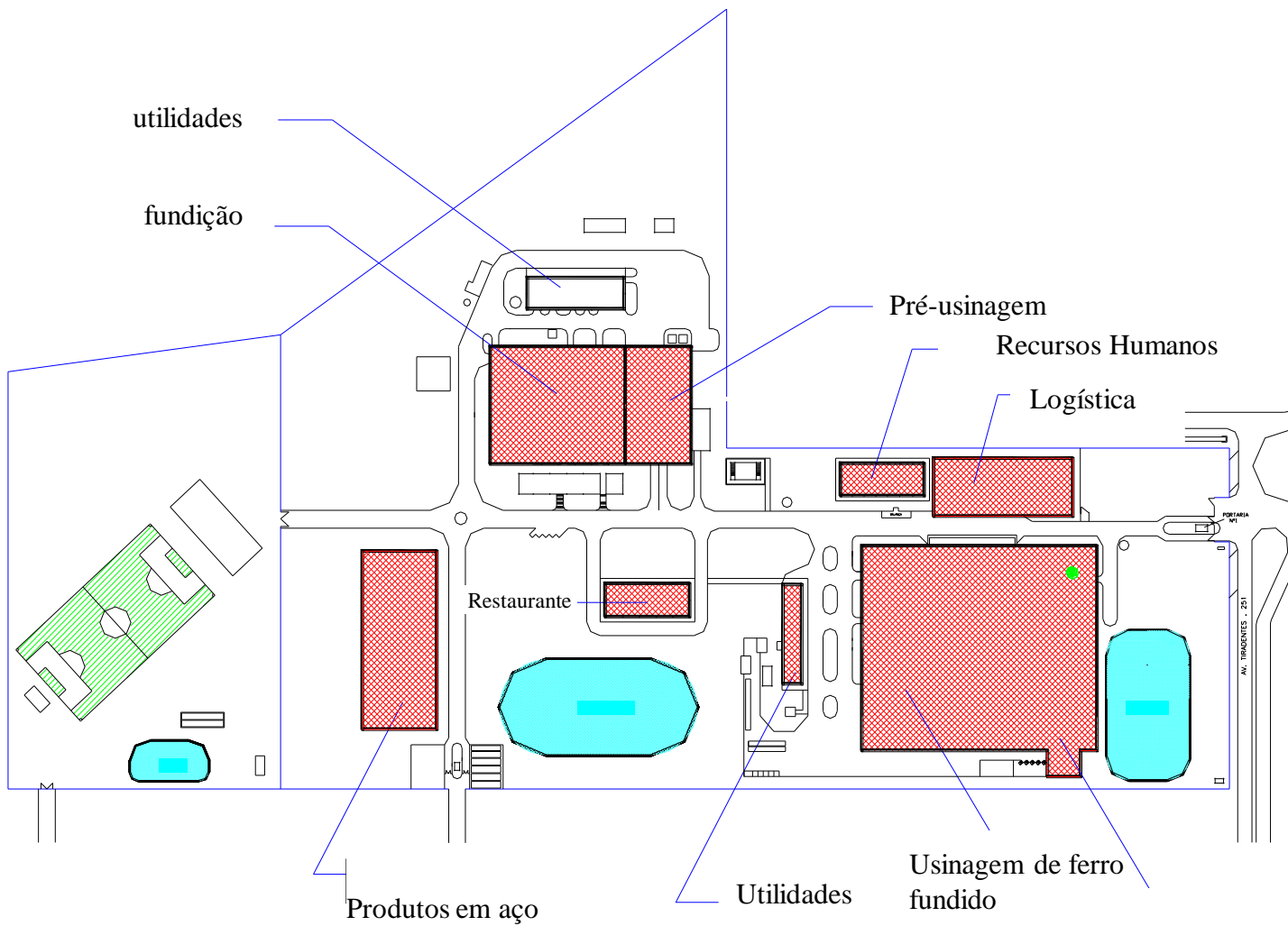
Bibliografia Auxiliar

- DE MEYER**, Arnoud. et al. - Flexibility: the next competitive battle the manufacturing futures survey - *Strategic Management Journal* - vol. 10, pp.135-144, 1989.
- FIGENBAUM**, Avi and Karnani, Aneel. - Output Flexibility: a competitive advantage for small firms - *Strategic Management Journal* - vol. 12, pp.101 –104, 1991.
- GERWIN**, Donald. - Do's and don'ts of computerized manufacturing - *Harvard Business Review* - March-April, 1982.
- GOLDEN**, William and Powell, Philip - Towards a definition of flexibility: in search of the Holy Grail? - *The International Journal of Management Science* - no. 28, pp. 373-384, 2000.
- GUPTA**, Tarun. - Design of manufacturing cells for flexible environment considering alternative routing - *International Journal of Production Research* - Vol. 31, no. 6, pp.1259 – 1273, 1993.
- HUTCHINSON**, G.K. and Sinha, Diptendu. - A quantification of the value of flexibility – *Journal of Manufacturing Systems* – volume 8, no. 1, pp. 47-57.
- JR**, George Stlak. – Time: the nest source of competitive advantage - *Harvard Business Review* - July-August, 1988.
- KOCHIKAR**, V.P. and Narendran T.T. - A framework for assessing the flexibility of manufacturing systems – *International Journal of Production Research* - Vol. 30. No.12, pp. 2873 –2895, 1992.
- LENS**, John E. - How well can flexibility be measured? - *Industrial Engineering* - june, 1992.
- MASCARENHAS**, Briance. - Planning for flexibility.Long Range Planning, vol. 14, no. 5, pp. 78 – 82, 1981.
- MILTENBURG**, G.J. - Economic evaluation and analysis of flexible manufacturing systems - *Engineering Costs and Production Economics*, 12, pp 79-92, 1987.
- MURAMATSU**, Rintaro. Ishii, K. and Takahashi, K.- Some ways to increase flexibility in manufacturing systems - *International Journal of Production Research* - Vol. 23, no. 4, 691 – 703, 1985.
- OPITZ**, H. and Wiendahl, H.P – Group technology and manufacturing systems for small and medium quantity production – *International Journal of Production Research* - vol 9, no. 1, pp. 181-203, 1971.
- PRICE**, D.H.R. and et al. - A system to support the enhancement of strategic flexibility in manufacturing enterprises - *European Journal of Operational Research* - pp.362-376, 1998.

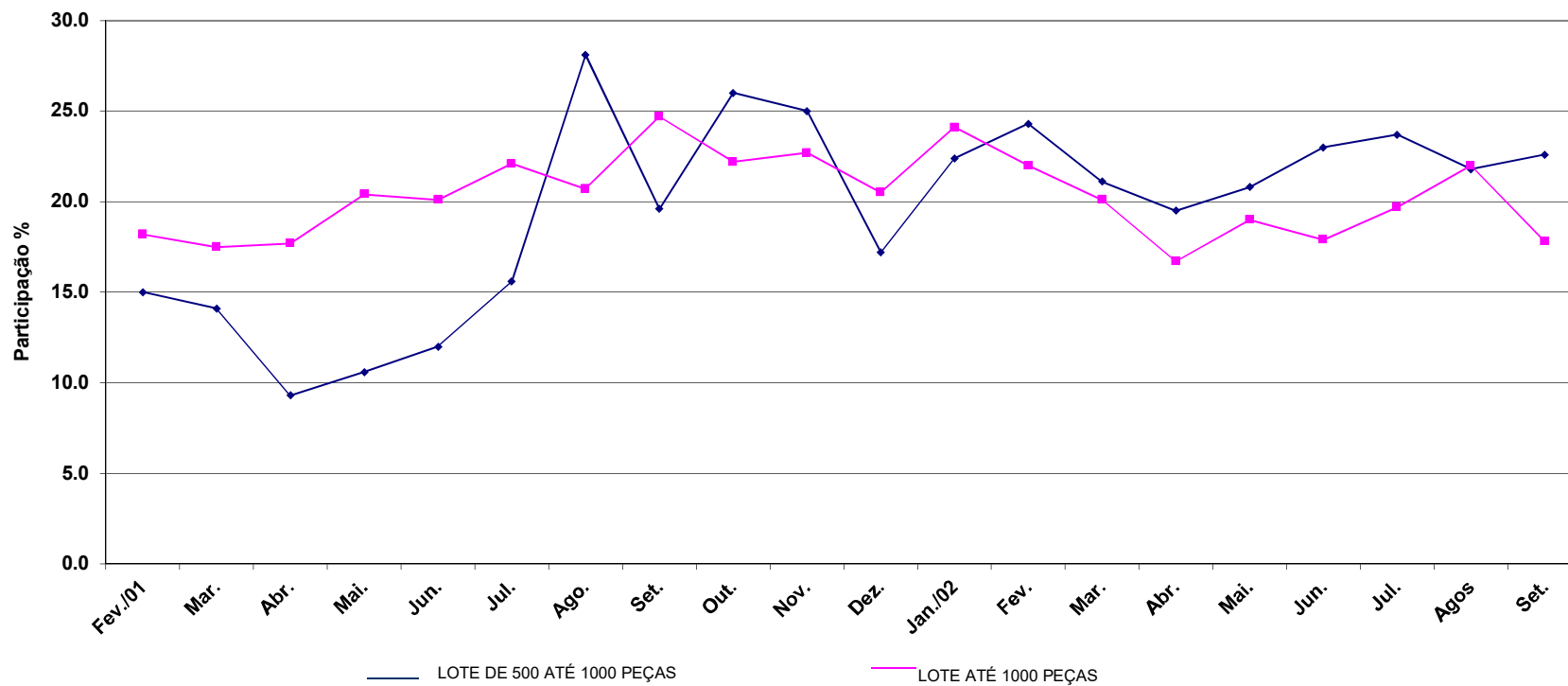
VOKURKA, Robert J. and O'Leary-Kelly – A review of empirical research on manufacturing flexibility – *Journal of Operations Management* – N.18, pp. 485-501, 2000.

YAO, David D. and Pei, Frances F. - Flexible parts routing in manufacturing systems - *IIE Transactions* - vol. 22, no. 1, 1990.

ANEXO 1- Lay-out geral da planta de Itajubá

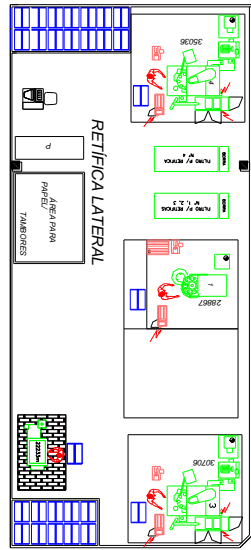
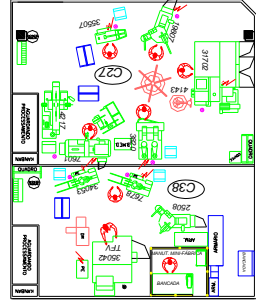
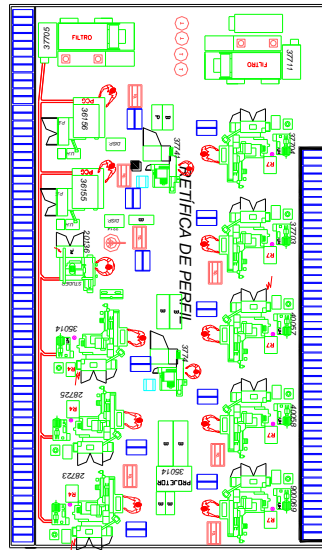
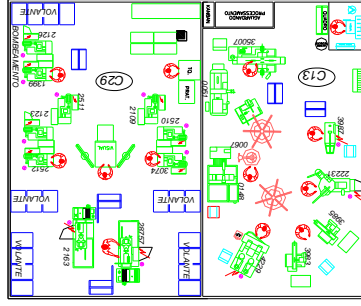
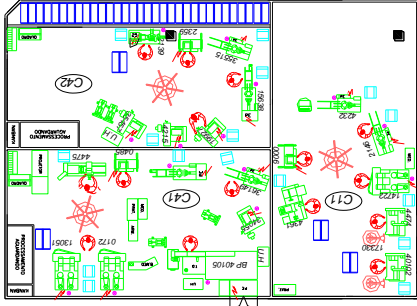
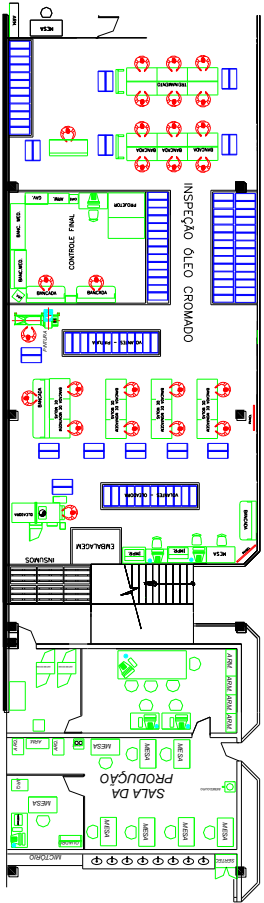


ANEXO 3 - EVOLUÇÃO DO TAMANHO DOS LOTES NO PERÍODO 2001/2002

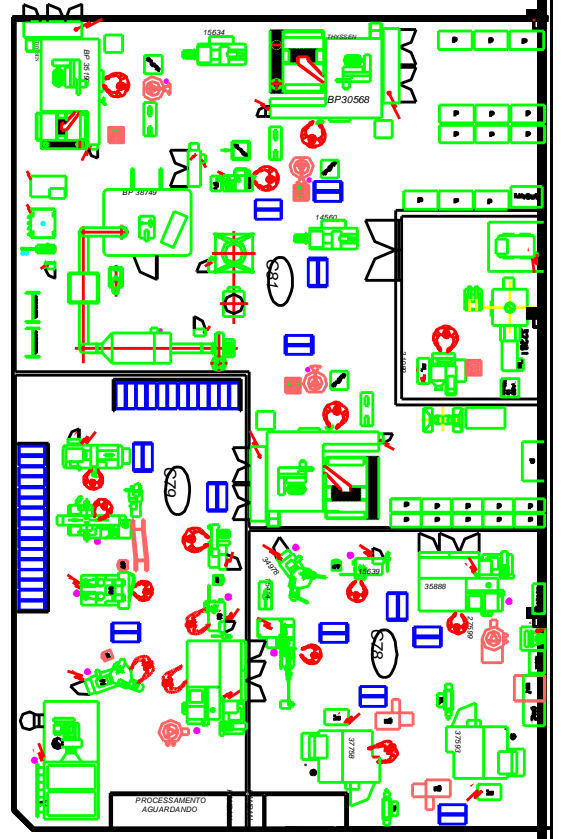
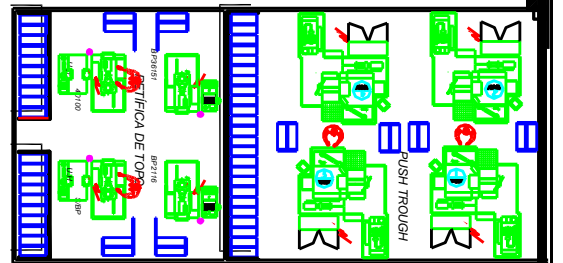
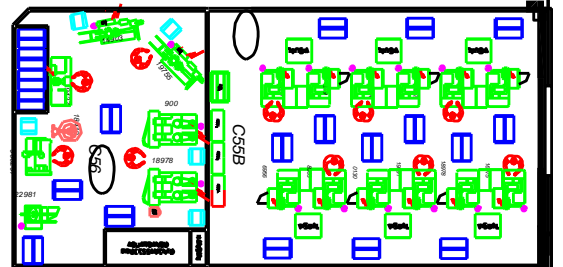
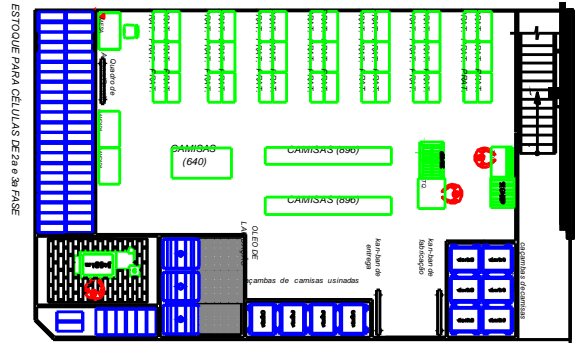
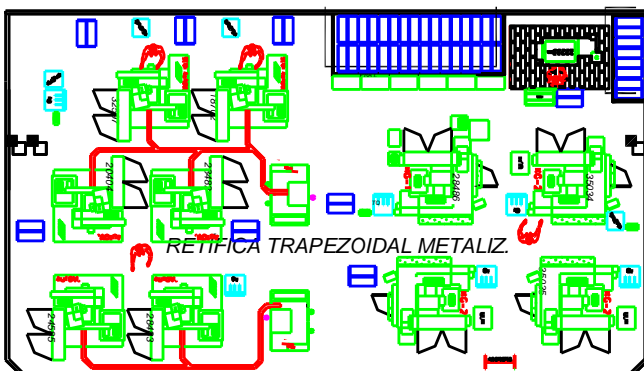
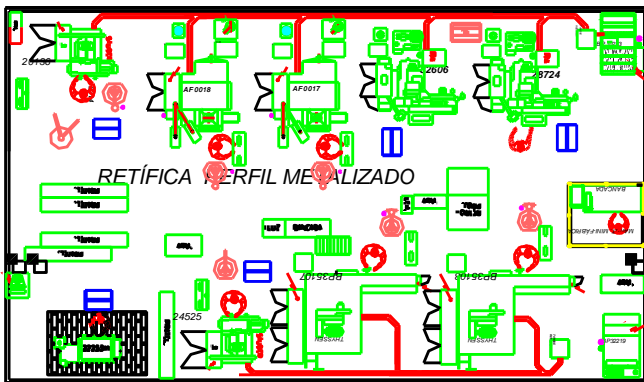
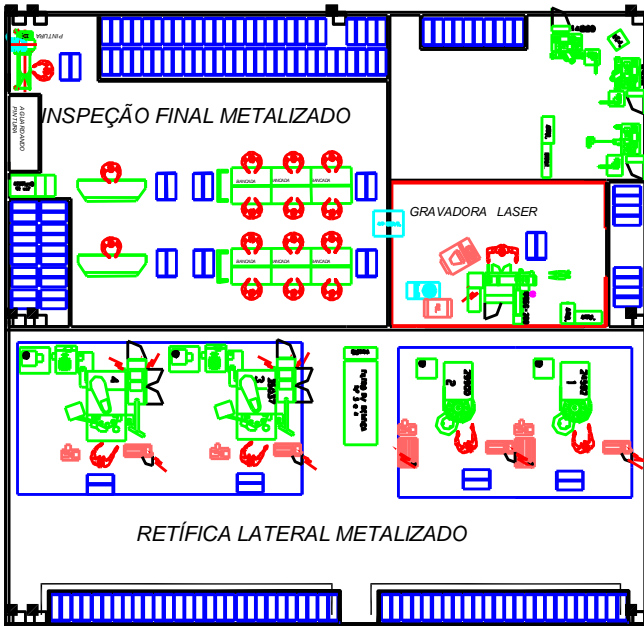
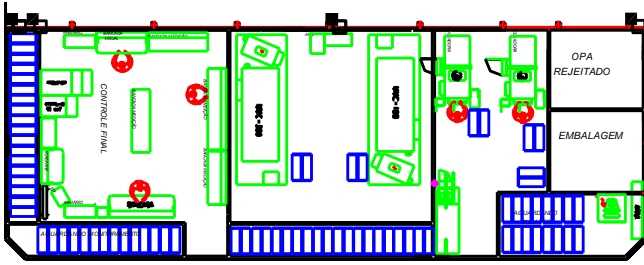


Lotes / Meses	Fev./01	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Jan./02	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Agos	Set.
Ate 500	15.0	14.1	9.3	10.6	12	15.6	28.1	19.6	26.0	25.0	17.2	22.4	24.3	21.1	19.5	20.8	23.0	23.7	21.8	22.6
de 501 a 1.000	18.2	17.5	17.7	20.4	20.1	22.1	20.7	24.7	22.2	22.7	20.5	24.1	22.0	20.1	16.7	19.0	17.9	19.7	22	17.8

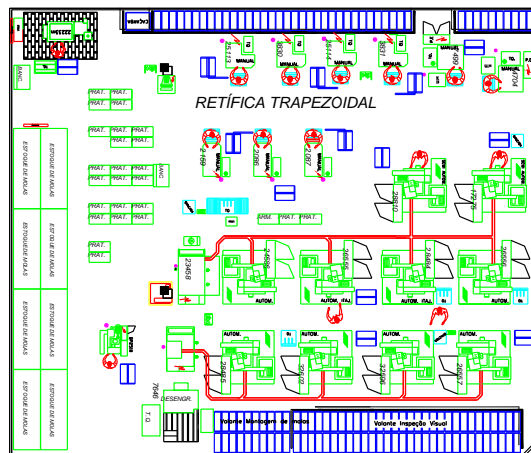
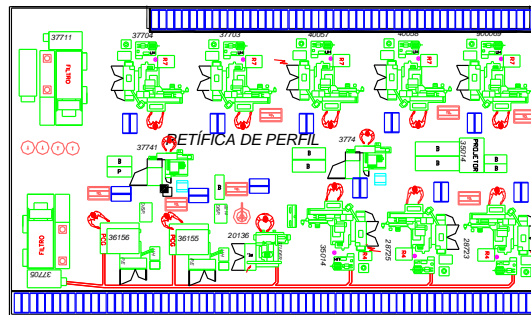
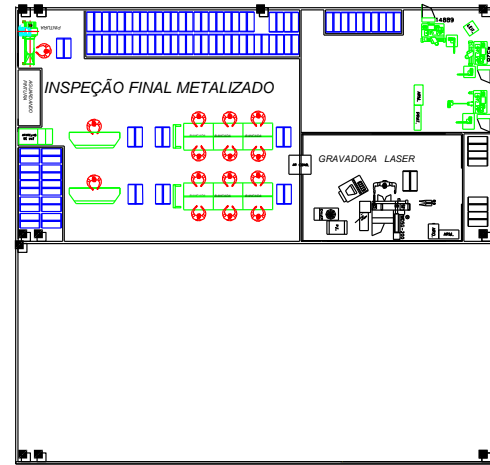
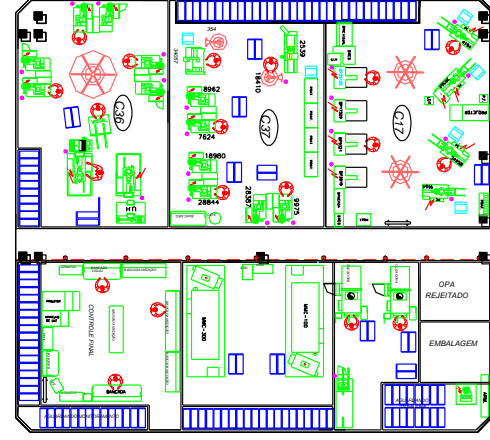
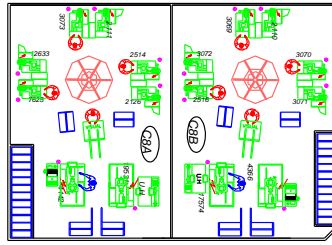
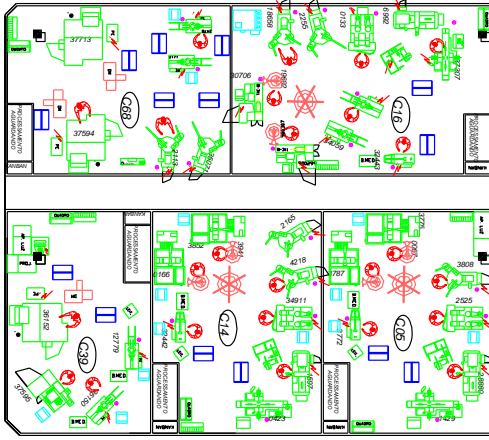
ANEXO 5 — Lay-out da planta 3



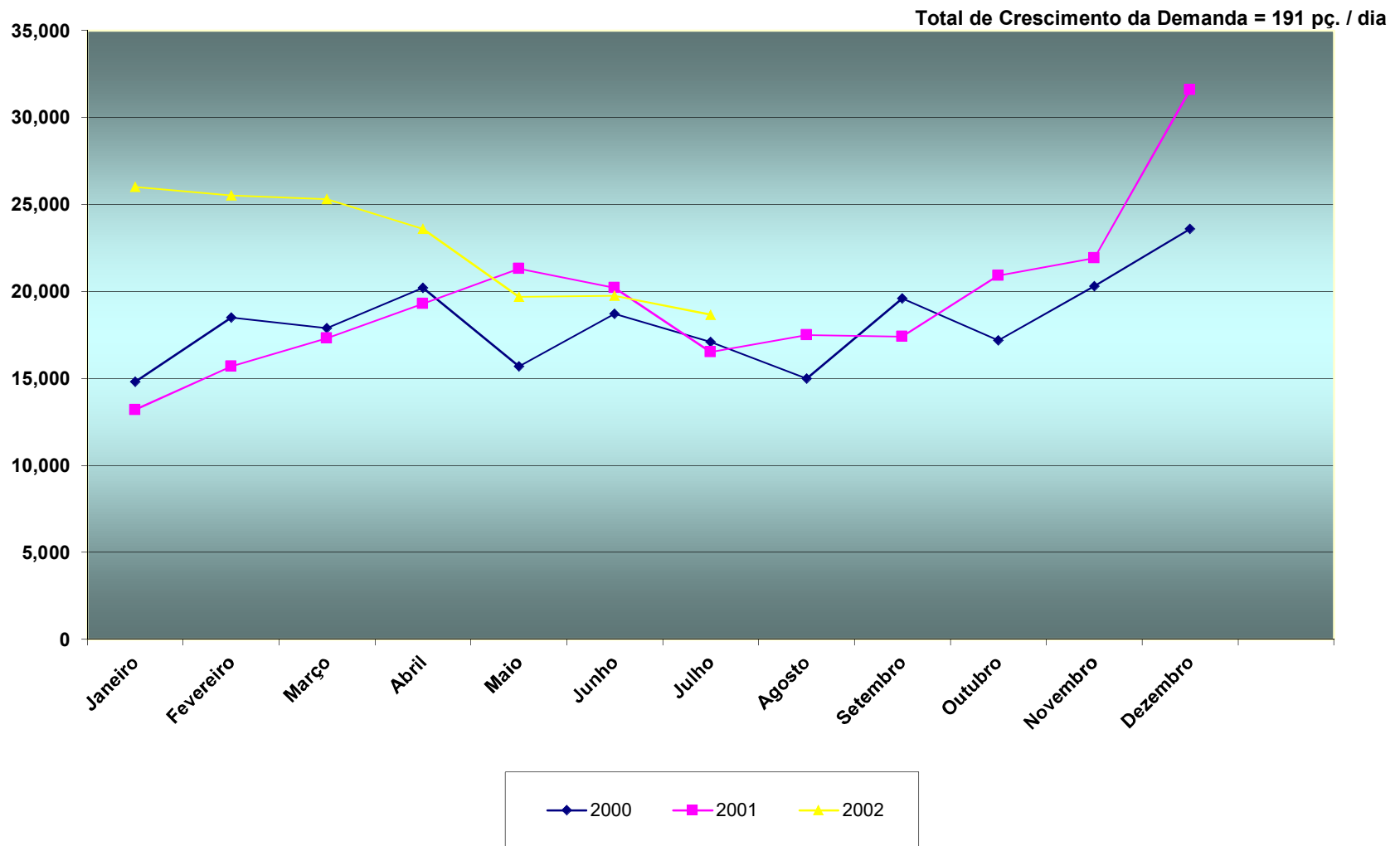
ANEXO 6 – Lay-out da planta 5



ANEXO 7 — Lay-out da planta 4



DEMANDA DIÁRIA ASC-O

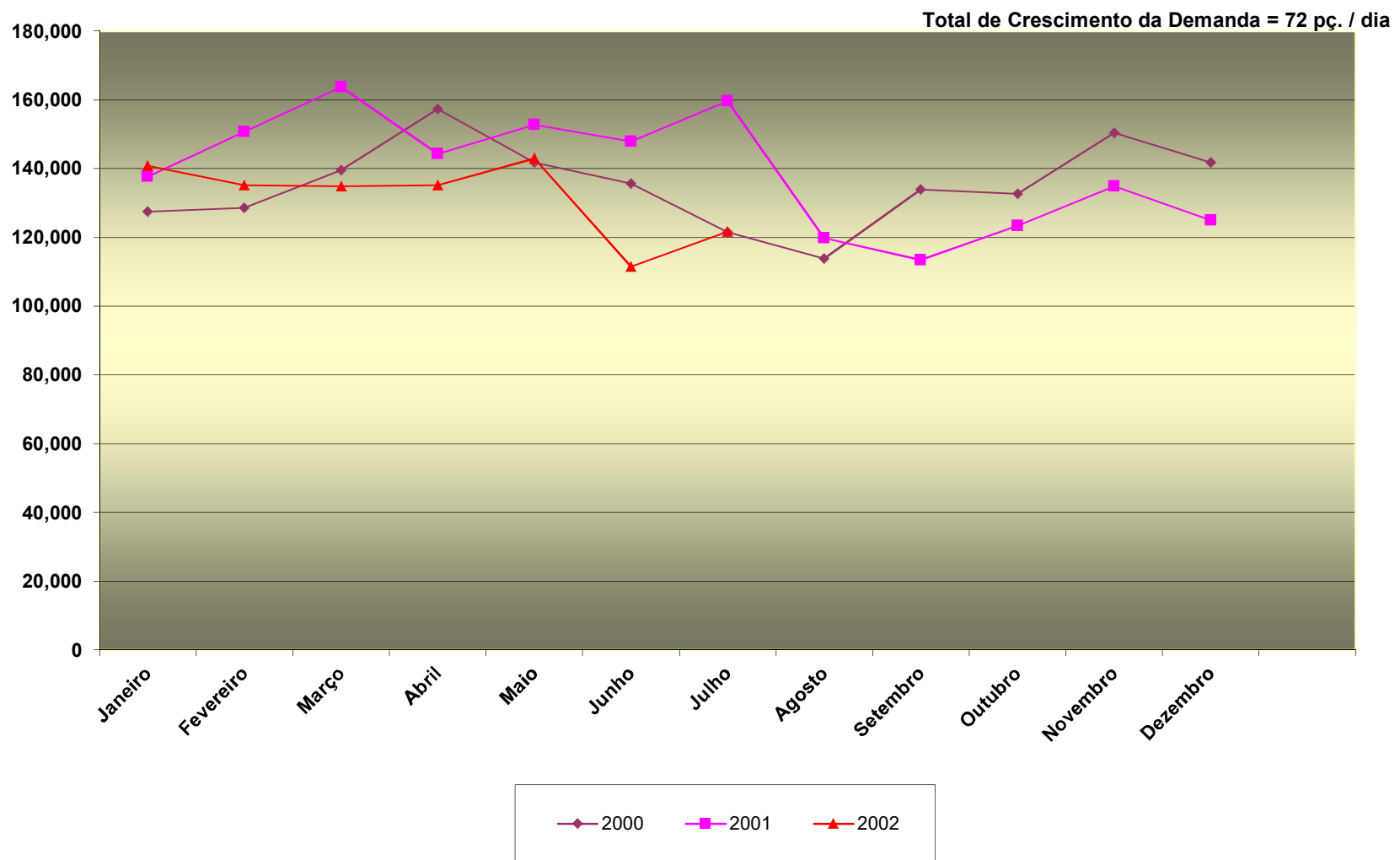


DEMANDA DIÁRIA**ASC-O**

	2000	2001	2002
Janeiro	14,800	13,200	26,000
Fevereiro	18,500	15,700	25,500
Março	17,900	17,300	25,300
Abril	20,200	19,300	23,600
Mai	15,700	21,300	19,676
Junho	18,700	20,200	19,750
Julho	17,100	16,500	18,653
Agosto	15,000	17,500	
Setembro	19,600	17,400	
Outubro	17,200	20,900	
Novembro	20,300	21,900	
Dezembro	23,600	31,600	

sublinha	maio	junho	julho
10	172,746	278,914	208,004
15	279,797	175,325	221,008
TOTAL	452,543	454,239	429,012
DIÁRIO	19,676	19,750	18,653

DEMANDA DIÁRIA ASC-C



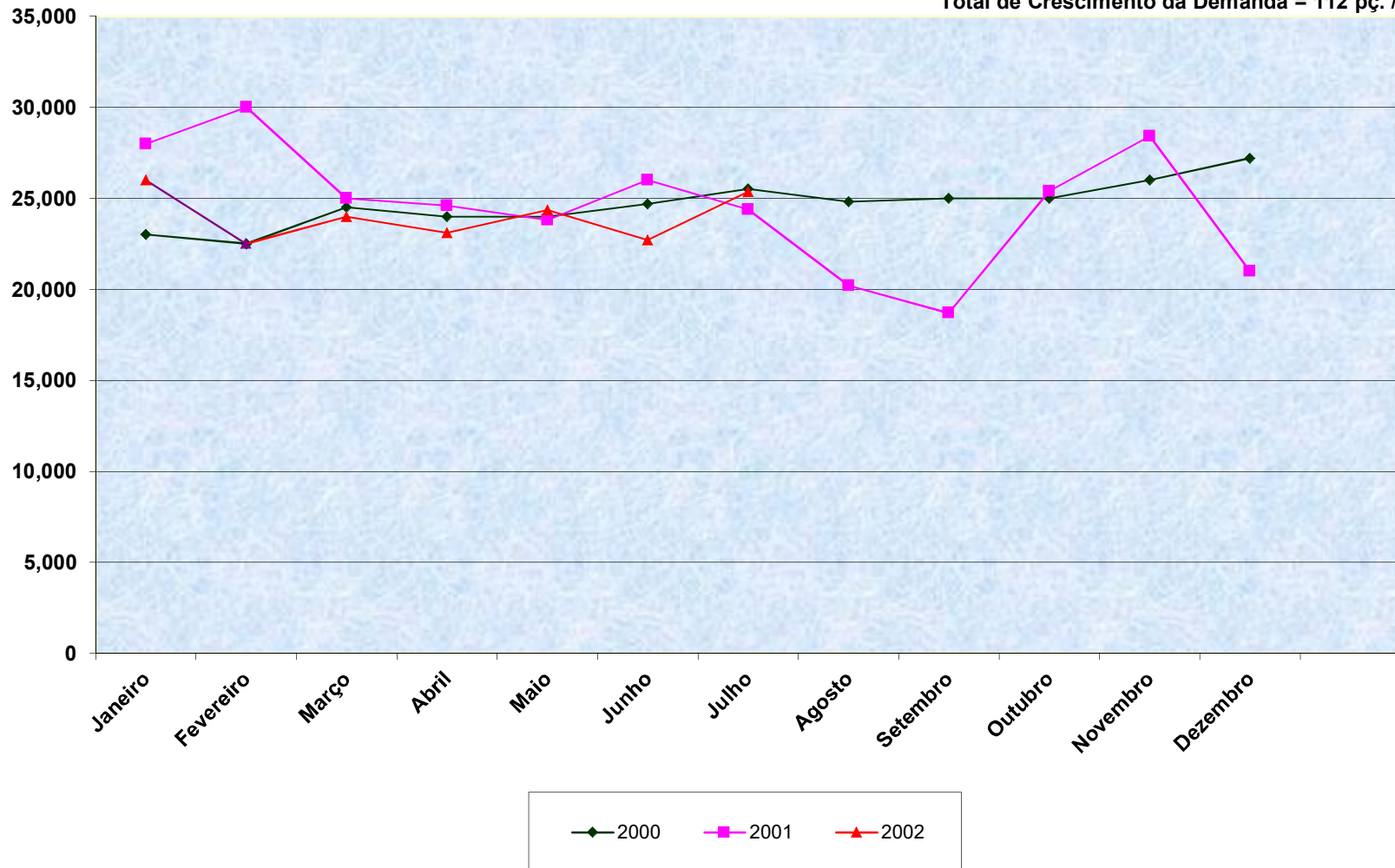
DEMANDA DIÁRIA**ASC-C**

	2000	2001	2002
Janeiro	127,400	137,700	140,800
Fevereiro	128,600	150,600	135,200
Março	139,500	163,700	134,900
Abril	157,300	144,200	135,100
Mai	141,800	152,700	142,913
Junho	135,600	147,900	111,462
Julho	121,500	159,600	121,685
Agosto	113,800	119,800	
Setembro	133,900	113,400	
Outubro	132,700	123,300	
Novembro	150,300	134,900	
Dezembro	141,800	125,000	

sublinha	maio	junho	julho
1	3,195,194	2,499,183	2,756,985
2	33,528	55,049	41,780
26	58,266	9,389	0
TOTAL	3,286,988	2,563,621	2,798,765
DIÁRIO	142,913	111,462	121,685

DEMANDA DIÁRIA ACC-O

Total de Crescimento da Demanda = 112 pç. / dia

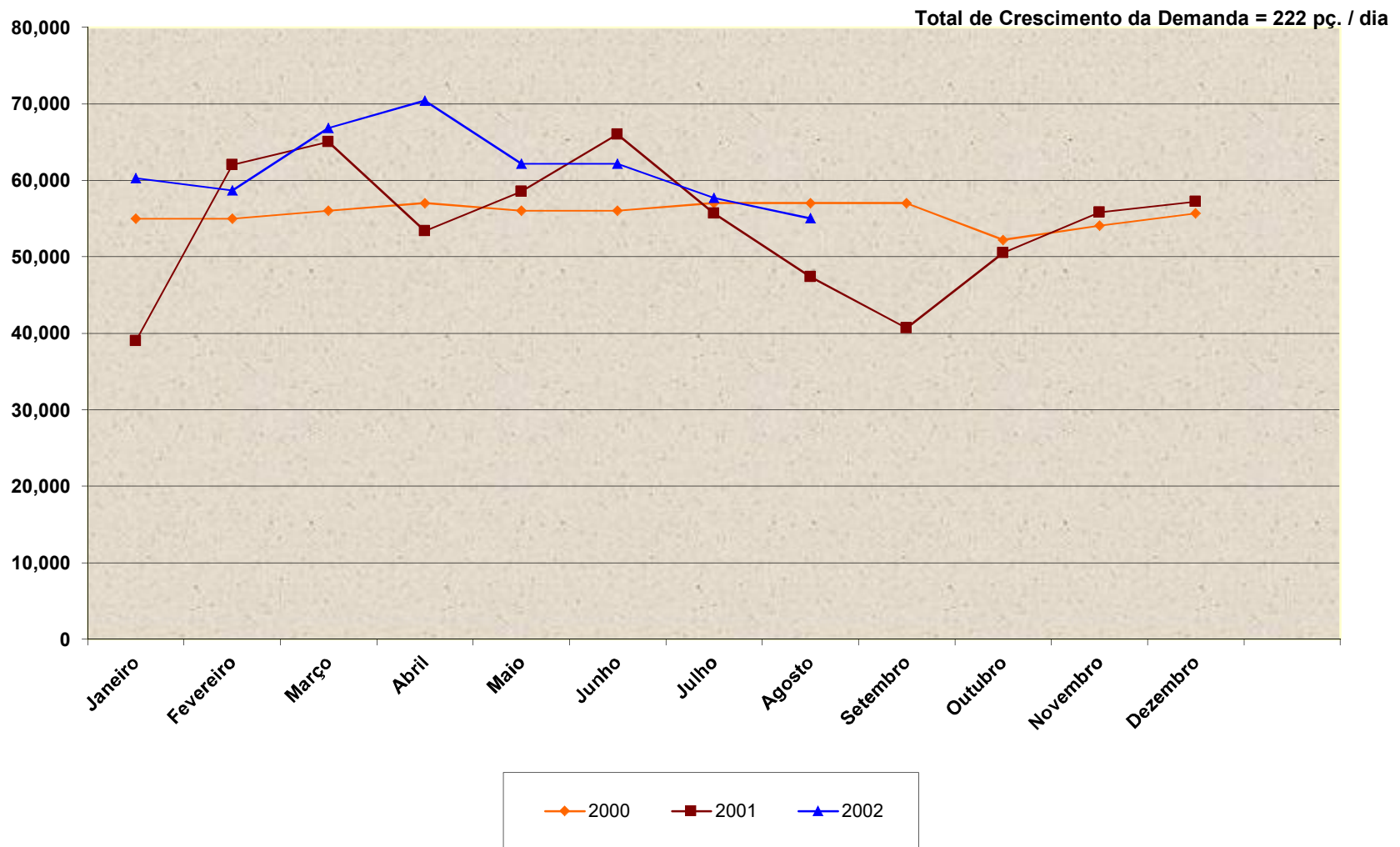


DEMANDA DIÁRIA**ACC-O**

	2000	2001	2002
Janeiro	23,000	28,000	26,000
Fevereiro	22,500	30,000	22,500
Março	24,500	25,000	24,000
Abril	24,000	24,600	23,100
Mai	24,000	23,800	24,347
Junho	24,700	26,000	22,718
Julho	25,500	24,400	25,368
Agosto	24,800	20,200	
Setembro	25,000	18,700	
Outubro	25,000	25,400	
Novembro	26,000	28,400	
Dezembro	27,200	21,000	

sublinha	maio	junho	julho
13	991	6,849	4,313
16	559,000	515,676	579,145
TOTAL	559,991	522,525	583,458
DIÁRIO	24,347	22,718	25,368

DEMANDA DIÁRIA ACC-C



DEMANDA DIÁRIA**ACC-C**

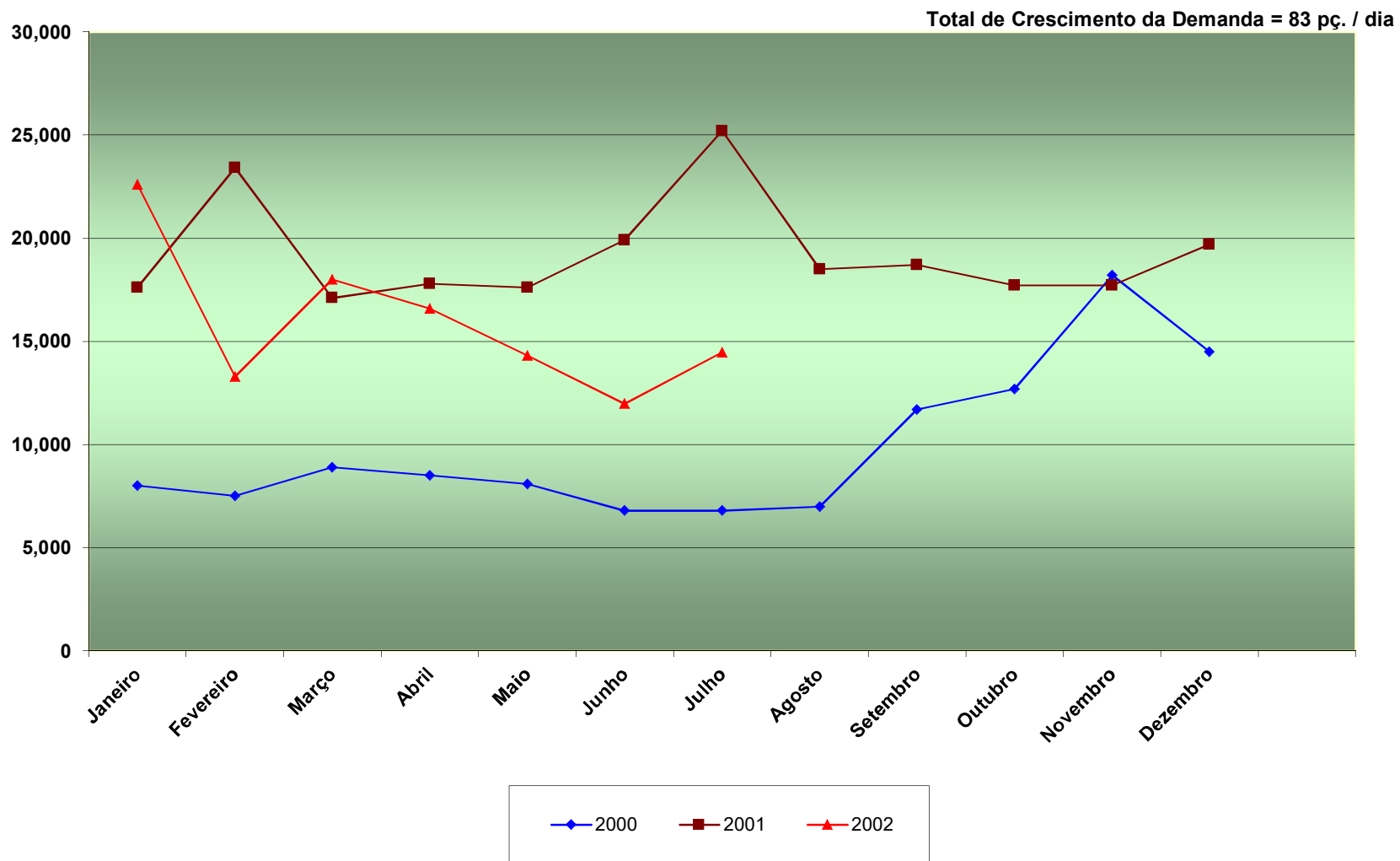
	2000	2001	2002
Janeiro	55,000	39,000	60,300
Fevereiro	55,000	62,000	58,700
Março	56,000	65,000	66,800
Abril	57,000	53,400	70,400
Mai	56,000	58,500	62,143
Junho	56,000	66,000	62,143
Julho	57,000	55,700	57,694
Agosto	57,000	47,400	55,014
Setembro	57,000	40,700	
Outubro	52,200	50,500	
Novembro	54,100	55,800	
Dezembro	55,700	57,200	

sublinha	maio	junho	julho
3	242,556	358,429	280,441
5	967,860	724,077	741,558
7	15,515	24,276	28,717
8	203,369	215,222	210,833
60	0	4,947	3,774
TOTAL	1,429,300	1,326,951	1,265,323

k
M

DIÁRIO	62,143	57,694	55,014
--------	--------	--------	--------

DEMANDA DIÁRIA ACC-M



DEMANDA DIÁRIA**ACC-M**

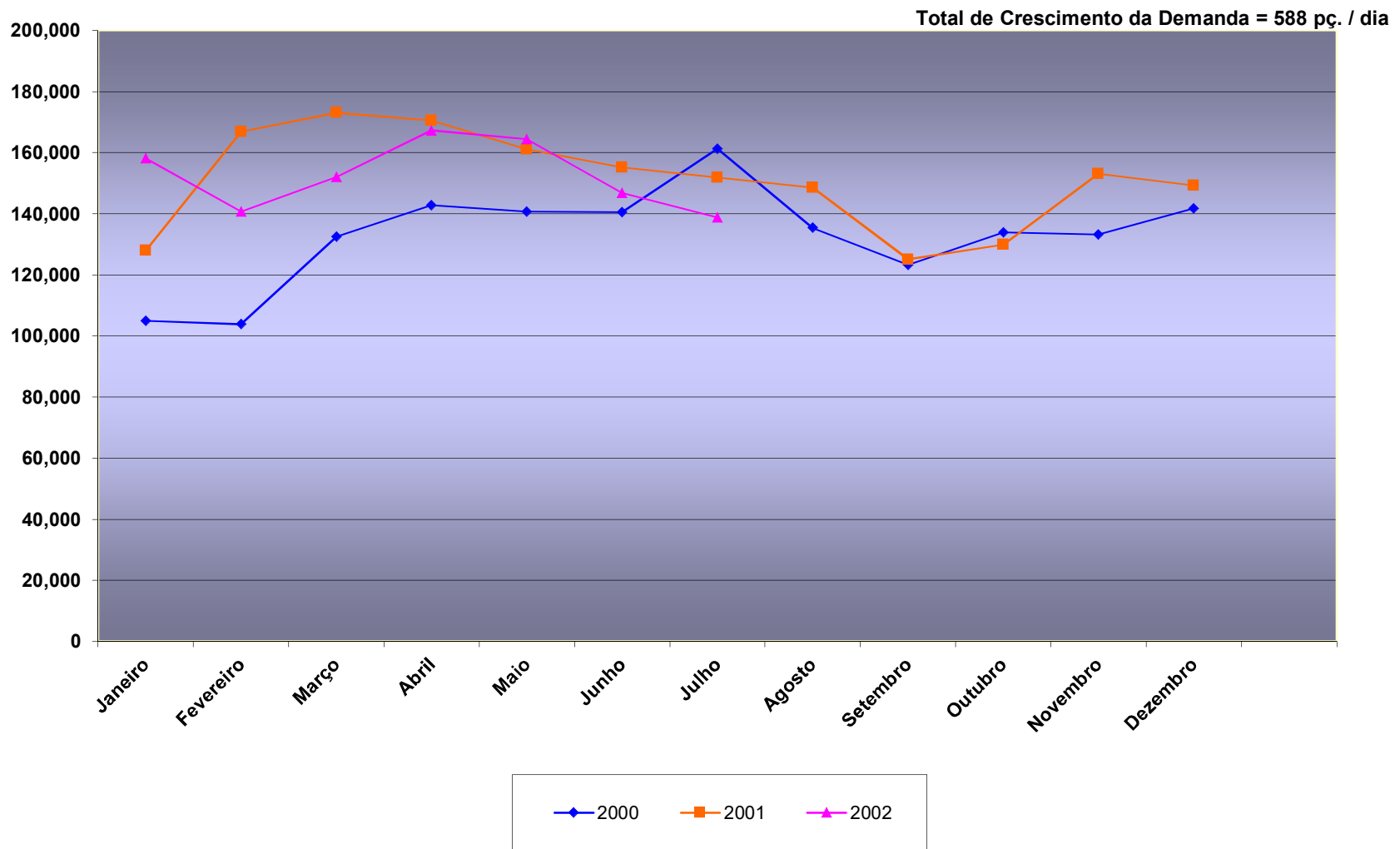
	2000	2001	2002
Janeiro	8,000	17,600	22,600
Fevereiro	7,500	23,400	13,300
Março	8,900	17,100	18,000
Abril	8,500	17,800	16,600
Mai	8,100	17,600	14,300
Junho	6,800	19,900	11,973
Julho	6,800	25,200	14,471
Agosto	7,000	18,500	
Setembro	11,700	18,700	
Outubro	12,700	17,700	
Novembro	18,200	17,700	
Dezembro	14,500	19,700	

sublinha	maio	junho	julho
4	17,806	9,436	7,344
6	23,658	14,473	67,273
9	3,149	14,061	14,835
62 (fofo/aço)	276,374	237,413	243,385
62 (nitretado)	7,909	0	0
TOTAL	328,896	275,383	332,837

k
M

DIÁRIO	14,300	11,973	14,471
--------	--------	--------	--------

Anexo 8 - DEMANDA DIÁRIA da planta 6

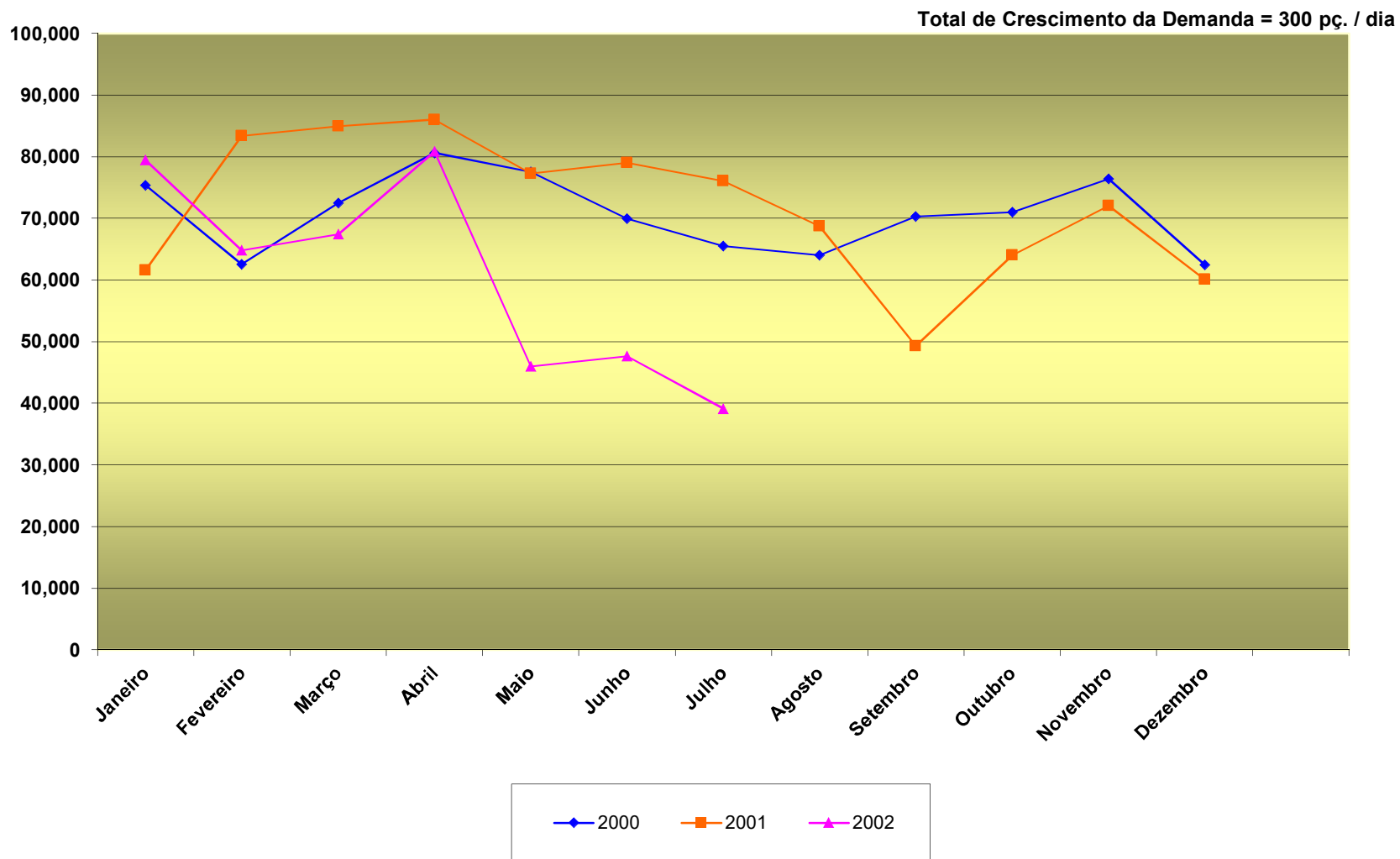


DEMANDA DIÁRIA**SEG - C**

	2000	2001	2002
Janeiro	105,000	128,000	158,200
Fevereiro	103,900	166,900	140,800
Março	132,500	173,100	152,100
Abril	142,800	170,500	167,300
Mai	140,800	161,100	164,474
Junho	140,600	155,200	146,834
Julho	161,300	151,900	138,814
Agosto	135,400	148,600	
Setembro	123,300	125,100	
Outubro	133,900	129,900	
Novembro	133,200	153,100	
Dezembro	141,800	149,200	

sublinha	maio	junho	julho
40	3,782,904	3,377,185	3,192,730
TOTAL	3,782,904	3,377,185	3,192,730
DIÁRIO	164,474	146,834	138,814

DEMANDA DIÁRIA ES

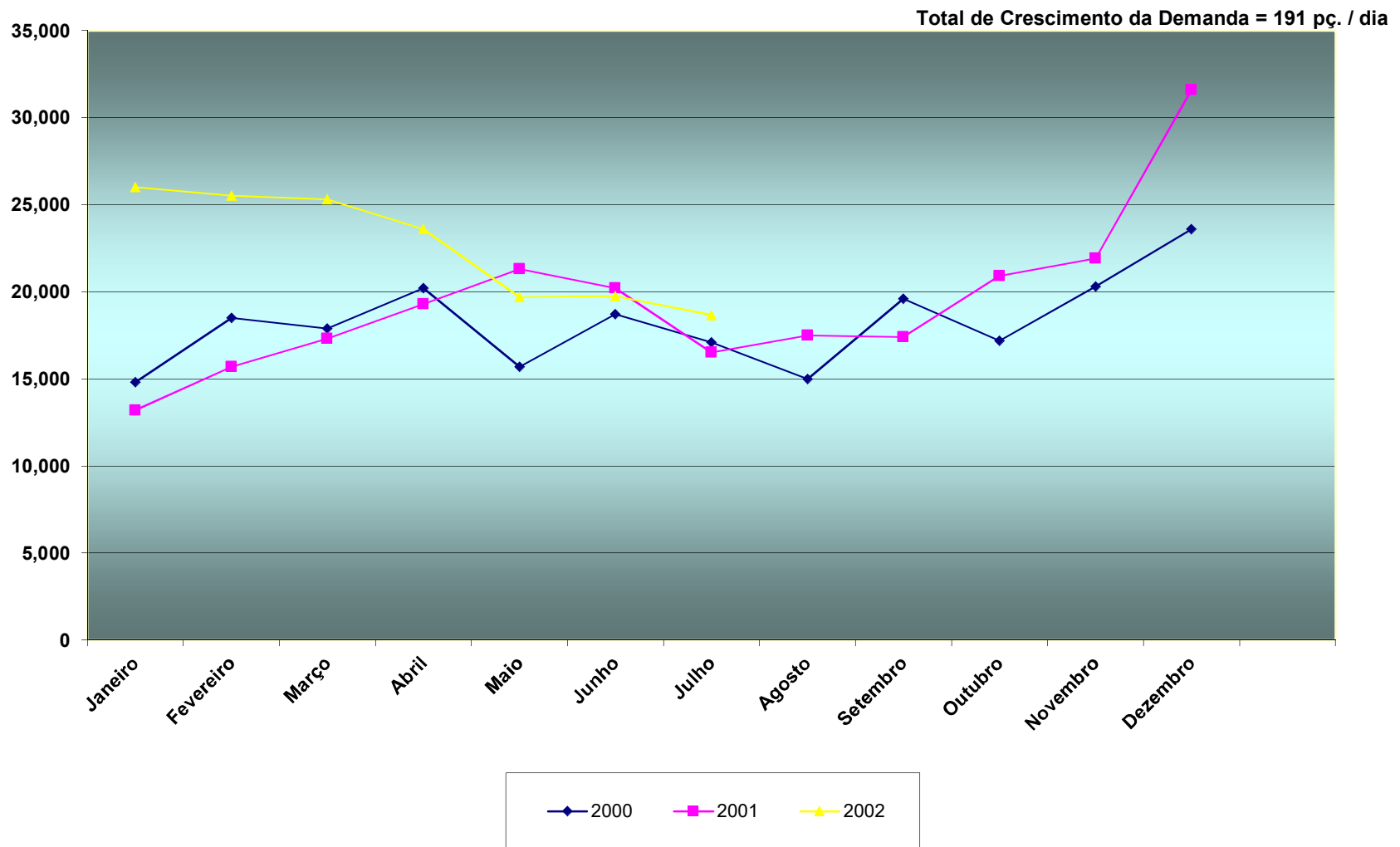


DEMANDA DIÁRIA**ES**

	2000	2001	2002
Janeiro	75,300	61,600	79,400
Fevereiro	62,500	83,400	64,800
Março	72,500	84,900	67,400
Abril	80,600	86,000	80,800
Mai	77,500	77,300	45,996
Junho	69,900	79,000	47,629
Julho	65,500	76,000	39,101
Agosto	64,000	68,700	
Setembro	70,300	49,300	
Outubro	71,000	64,000	
Novembro	76,400	72,000	
Dezembro	62,400	60,100	

sublinha	maio	junho	julho
18 (80/81)	1057900	1095459	899312
TOTAL	1,057,900	1,095,459	899,312
DIÁRIO	45,996	47,629	39,101

DEMANDA DIÁRIA ASC-O

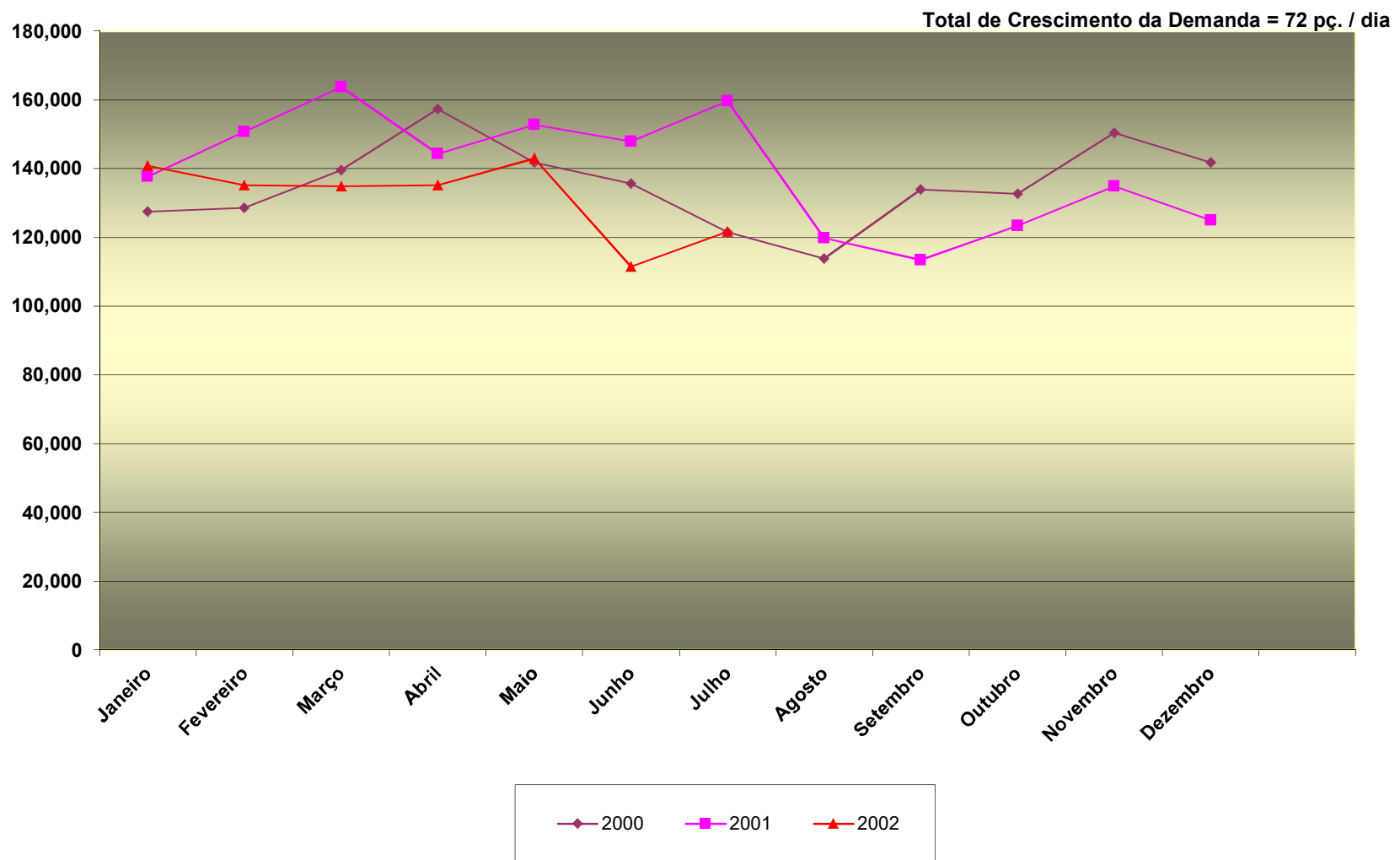


DEMANDA DIÁRIA**ASC-O**

	2000	2001	2002
Janeiro	14,800	13,200	26,000
Fevereiro	18,500	15,700	25,500
Março	17,900	17,300	25,300
Abril	20,200	19,300	23,600
Mai	15,700	21,300	19,676
Junho	18,700	20,200	19,750
Julho	17,100	16,500	18,653
Agosto	15,000	17,500	
Setembro	19,600	17,400	
Outubro	17,200	20,900	
Novembro	20,300	21,900	
Dezembro	23,600	31,600	

sublinha	maio	junho	julho
10	172,746	278,914	208,004
15	279,797	175,325	221,008
TOTAL	452,543	454,239	429,012
DIÁRIO	19,676	19,750	18,653

DEMANDA DIÁRIA ASC-C



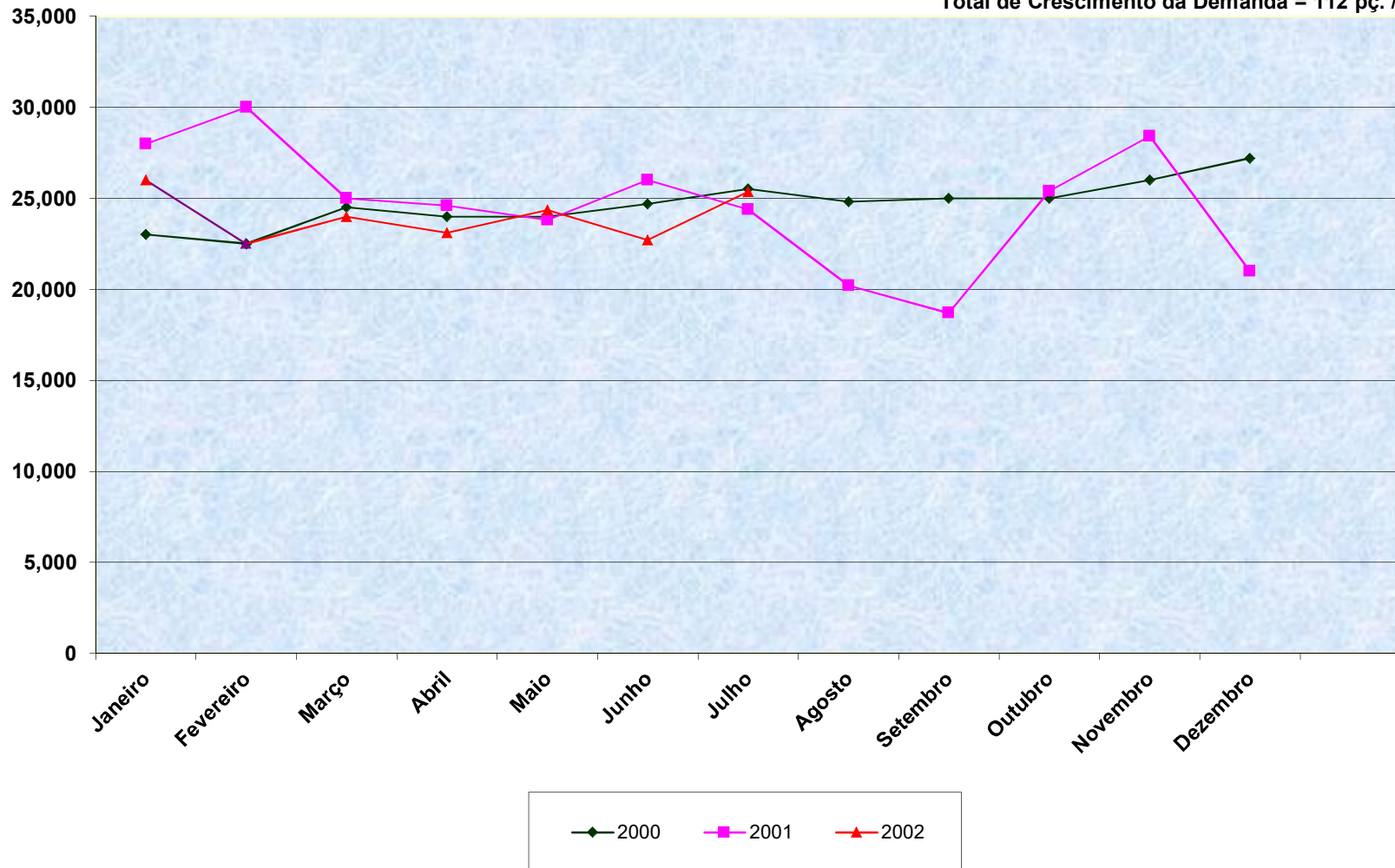
DEMANDA DIÁRIA**ASC-C**

	2000	2001	2002
Janeiro	127,400	137,700	140,800
Fevereiro	128,600	150,600	135,200
Março	139,500	163,700	134,900
Abril	157,300	144,200	135,100
Mai	141,800	152,700	142,913
Junho	135,600	147,900	111,462
Julho	121,500	159,600	121,685
Agosto	113,800	119,800	
Setembro	133,900	113,400	
Outubro	132,700	123,300	
Novembro	150,300	134,900	
Dezembro	141,800	125,000	

sublinha	maio	junho	julho
1	3,195,194	2,499,183	2,756,985
2	33,528	55,049	41,780
26	58,266	9,389	0
TOTAL	3,286,988	2,563,621	2,798,765
DIÁRIO	142,913	111,462	121,685

DEMANDA DIÁRIA ACC-O

Total de Crescimento da Demanda = 112 pç. / dia

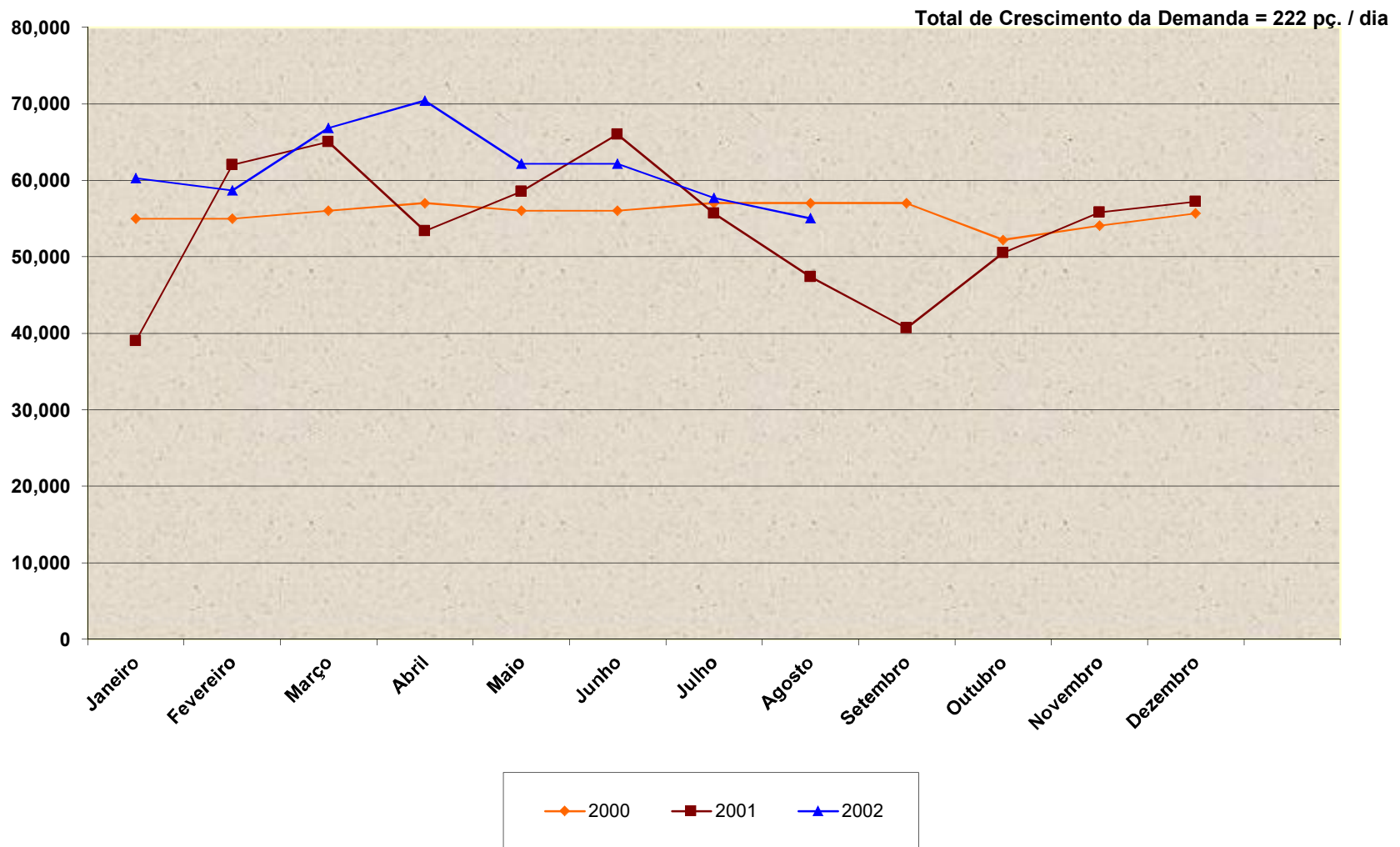


DEMANDA DIÁRIA**ACC-O**

	2000	2001	2002
Janeiro	23,000	28,000	26,000
Fevereiro	22,500	30,000	22,500
Março	24,500	25,000	24,000
Abril	24,000	24,600	23,100
Mai	24,000	23,800	24,347
Junho	24,700	26,000	22,718
Julho	25,500	24,400	25,368
Agosto	24,800	20,200	
Setembro	25,000	18,700	
Outubro	25,000	25,400	
Novembro	26,000	28,400	
Dezembro	27,200	21,000	

sublinha	maio	junho	julho
13	991	6,849	4,313
16	559,000	515,676	579,145
TOTAL	559,991	522,525	583,458
DIÁRIO	24,347	22,718	25,368

DEMANDA DIÁRIA ACC-C



DEMANDA DIÁRIA**ACC-C**

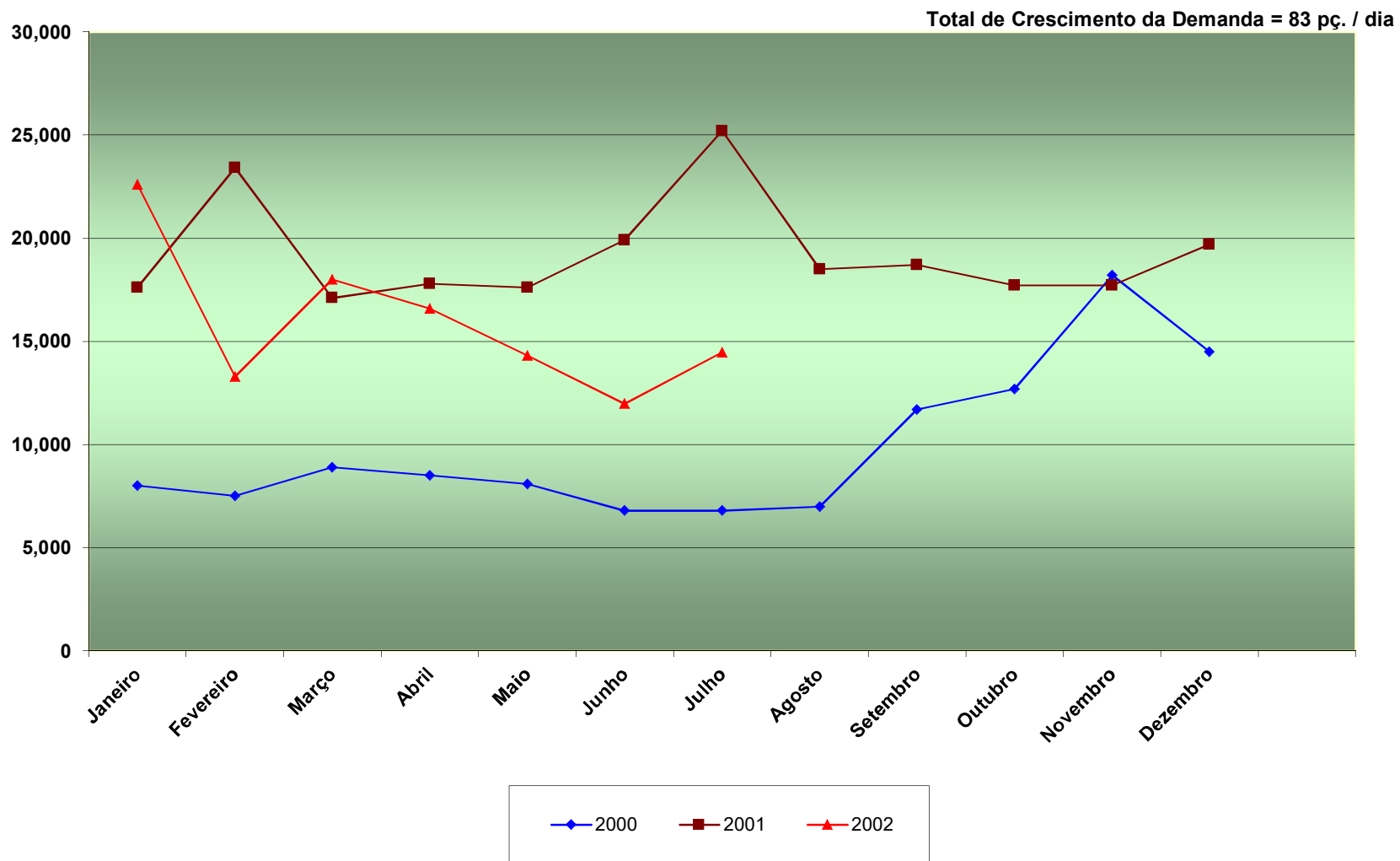
	2000	2001	2002
Janeiro	55,000	39,000	60,300
Fevereiro	55,000	62,000	58,700
Março	56,000	65,000	66,800
Abril	57,000	53,400	70,400
Mai	56,000	58,500	62,143
Junho	56,000	66,000	62,143
Julho	57,000	55,700	57,694
Agosto	57,000	47,400	55,014
Setembro	57,000	40,700	
Outubro	52,200	50,500	
Novembro	54,100	55,800	
Dezembro	55,700	57,200	

sublinha	maio	junho	julho
3	242,556	358,429	280,441
5	967,860	724,077	741,558
7	15,515	24,276	28,717
8	203,369	215,222	210,833
60	0	4,947	3,774
TOTAL	1,429,300	1,326,951	1,265,323

k
M

DIÁRIO	62,143	57,694	55,014
--------	--------	--------	--------

DEMANDA DIÁRIA ACC-M



DEMANDA DIÁRIA**ACC-M**

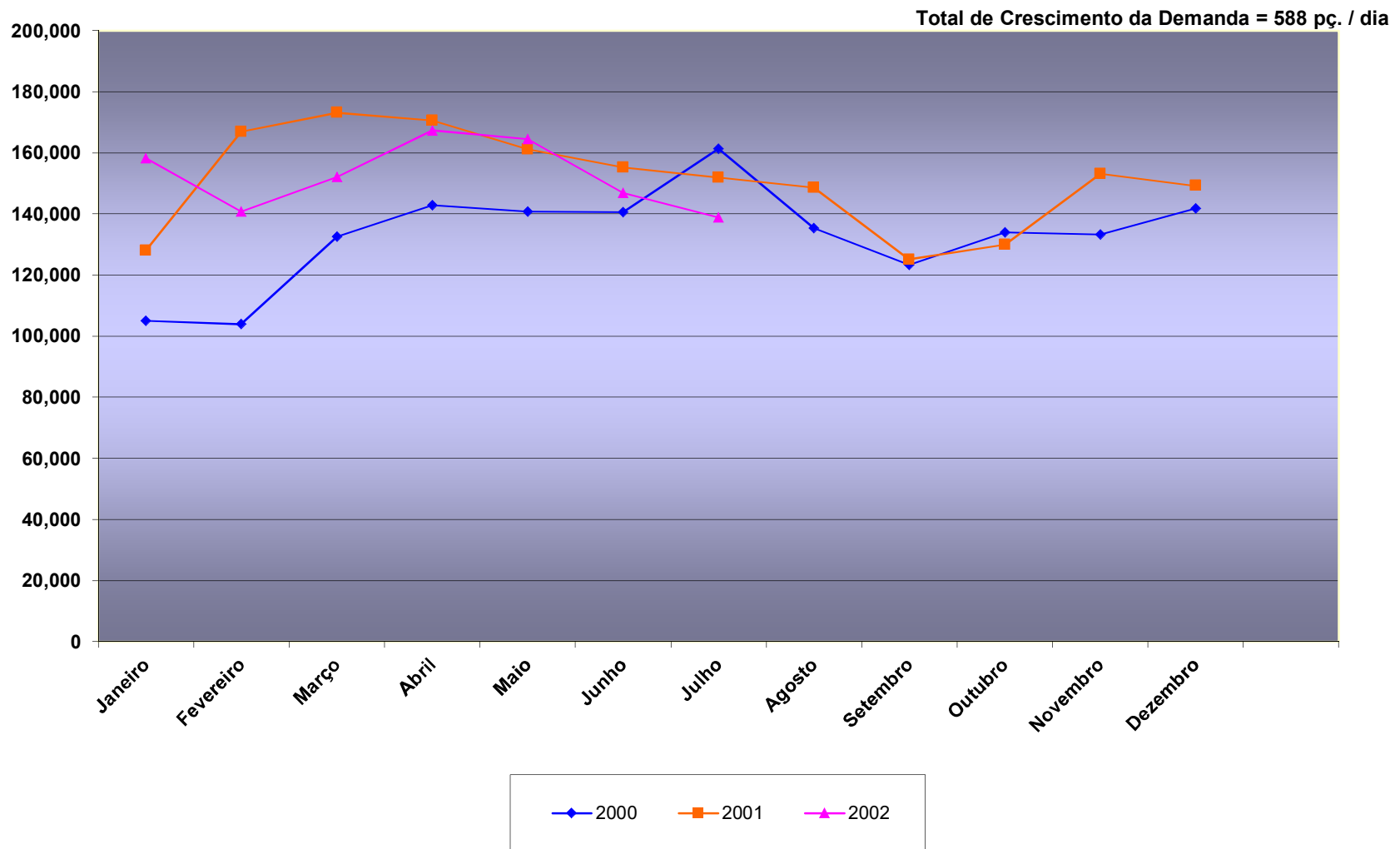
	2000	2001	2002
Janeiro	8,000	17,600	22,600
Fevereiro	7,500	23,400	13,300
Março	8,900	17,100	18,000
Abril	8,500	17,800	16,600
Mai	8,100	17,600	14,300
Junho	6,800	19,900	11,973
Julho	6,800	25,200	14,471
Agosto	7,000	18,500	
Setembro	11,700	18,700	
Outubro	12,700	17,700	
Novembro	18,200	17,700	
Dezembro	14,500	19,700	

sublinha	maio	junho	julho
4	17,806	9,436	7,344
6	23,658	14,473	67,273
9	3,149	14,061	14,835
62 (fofo/aço)	276,374	237,413	243,385
62 (nitretado)	7,909	0	0
TOTAL	328,896	275,383	332,837

k
M

DIÁRIO	14,300	11,973	14,471
--------	--------	--------	--------

Anexo 8 - DEMANDA DIÁRIA da planta 6

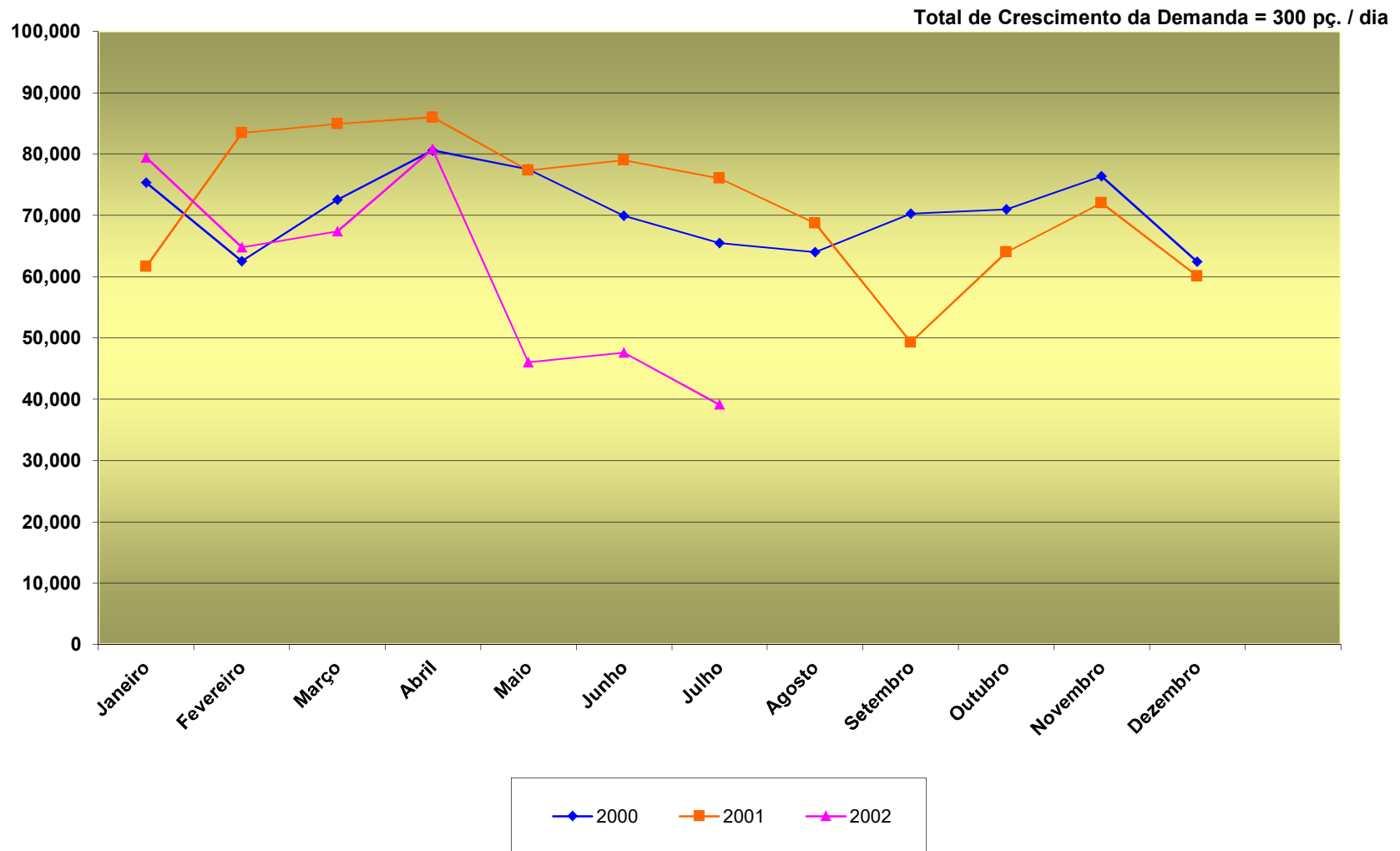


DEMANDA DIÁRIA**SEG - C**

	2000	2001	2002
Janeiro	105,000	128,000	158,200
Fevereiro	103,900	166,900	140,800
Março	132,500	173,100	152,100
Abril	142,800	170,500	167,300
Mai	140,800	161,100	164,474
Junho	140,600	155,200	146,834
Julho	161,300	151,900	138,814
Agosto	135,400	148,600	
Setembro	123,300	125,100	
Outubro	133,900	129,900	
Novembro	133,200	153,100	
Dezembro	141,800	149,200	

sublinha	maio	junho	julho
40	3,782,904	3,377,185	3,192,730
TOTAL	3,782,904	3,377,185	3,192,730
DIÁRIO	164,474	146,834	138,814

Anexo 9 - DEMANDA DIÁRIA da planta 7

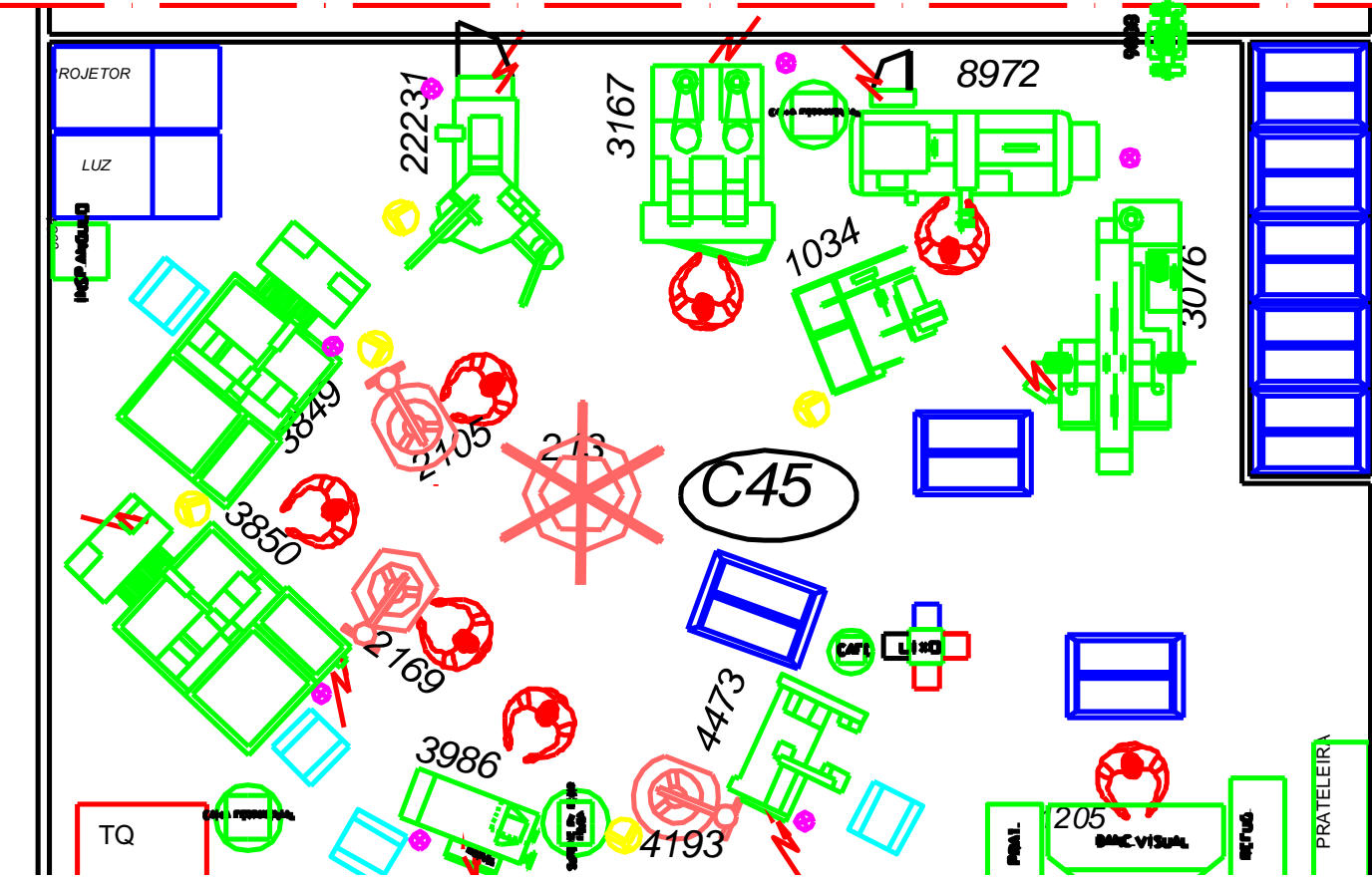


DEMANDA DIÁRIA**ES**

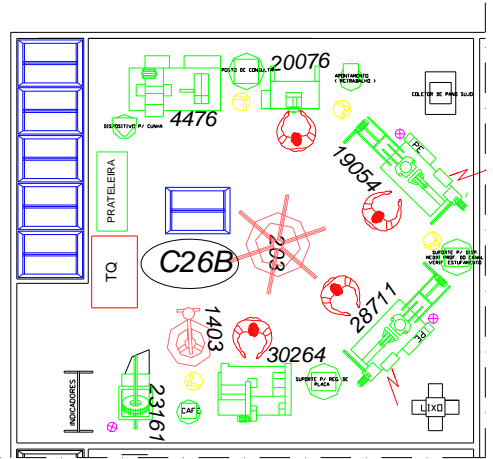
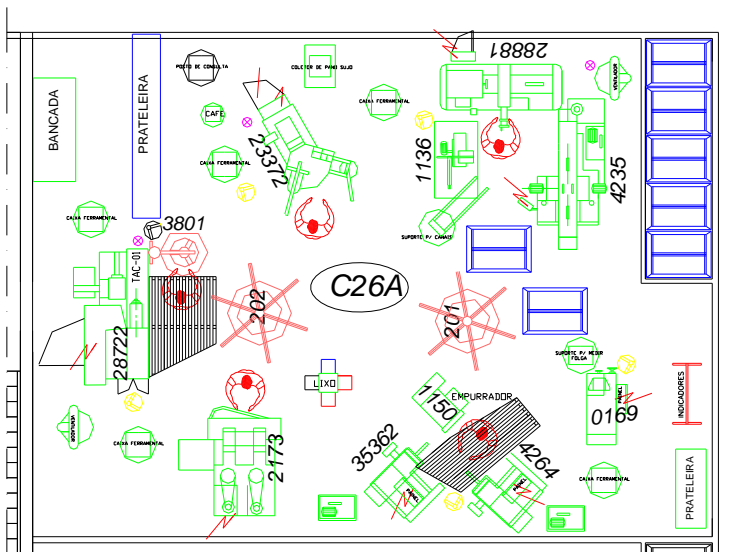
	2000	2001	2002
Janeiro	75,300	61,600	79,400
Fevereiro	62,500	83,400	64,800
Março	72,500	84,900	67,400
Abril	80,600	86,000	80,800
Mai	77,500	77,300	45,996
Junho	69,900	79,000	47,629
Julho	65,500	76,000	39,101
Agosto	64,000	68,700	
Setembro	70,300	49,300	
Outubro	71,000	64,000	
Novembro	76,400	72,000	
Dezembro	62,400	60,100	

sublinha	maio	junho	julho
18 (80/81)	1057900	1095459	899312
TOTAL	1,057,900	1,095,459	899,312
DIÁRIO	45,996	47,629	39,101

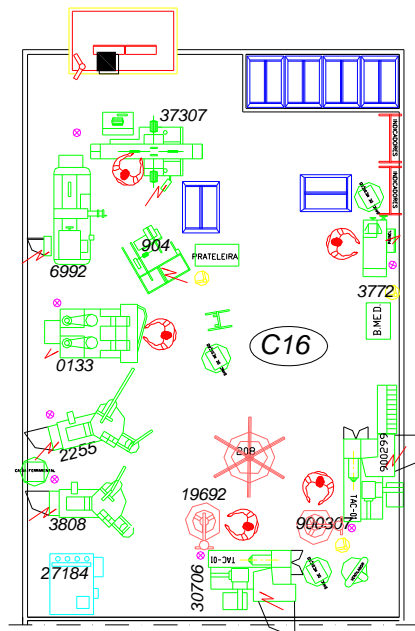
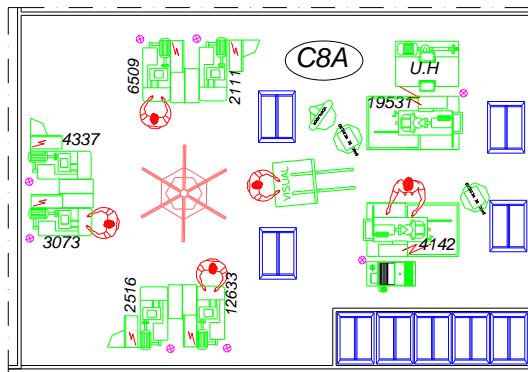
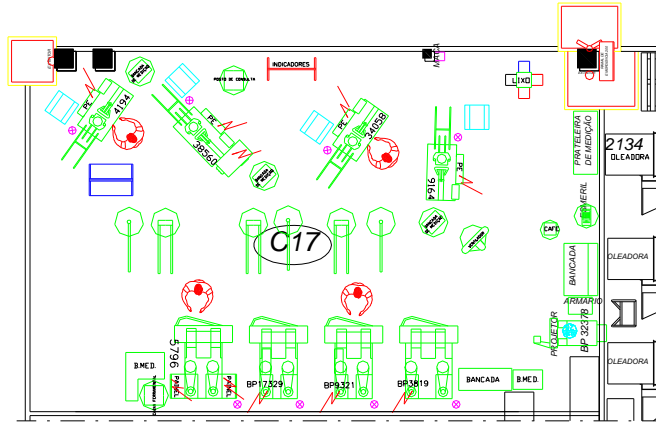
ANEXO 10 – Célula típica da planta 1



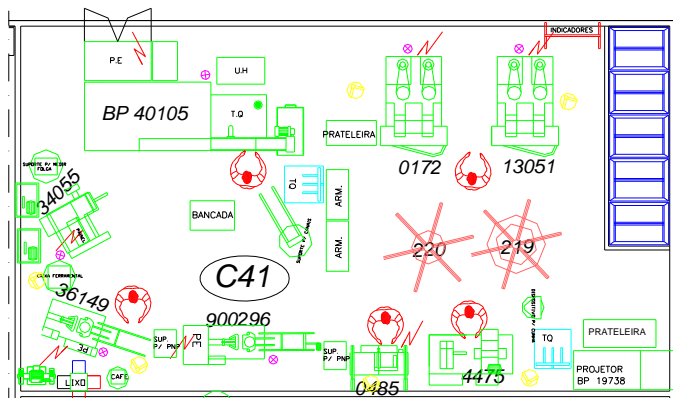
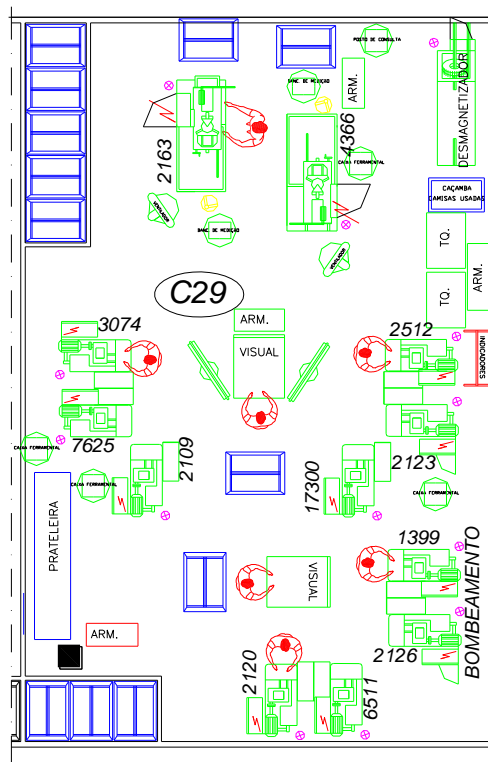
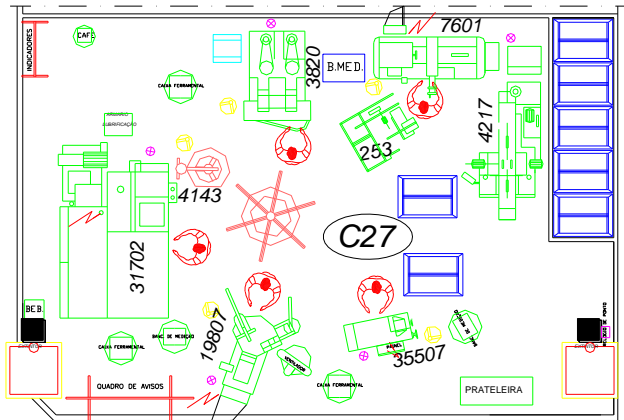
ANEXO 11 — Células típicas da planta 2



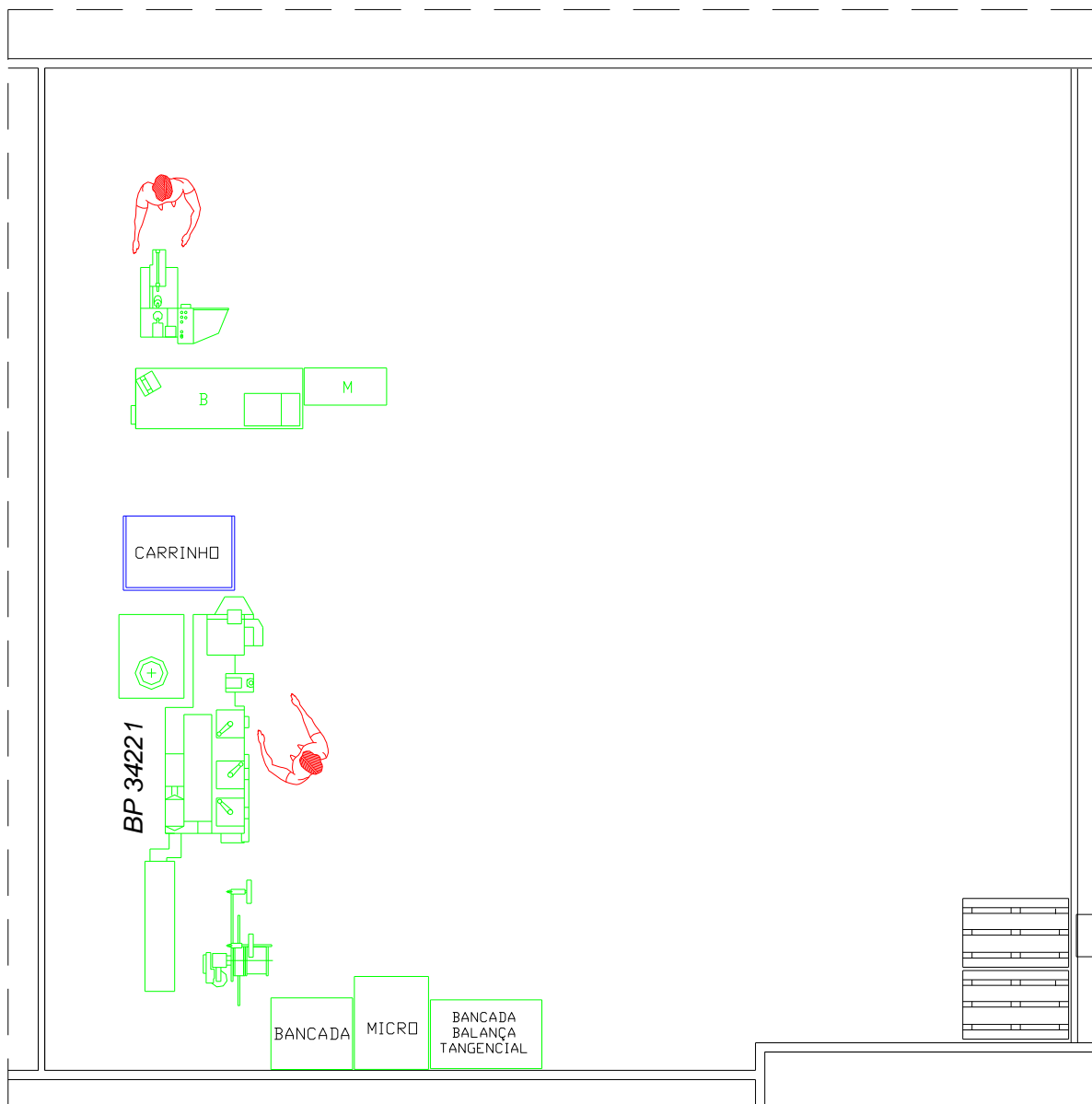
ANEXO 12 – Células típicas da planta 3



ANEXO 13 — Células típicas da planta 4



ANEXO 15 — Um módulo típico da planta 7



GM: 1800

TABELA: 08

OPERAÇÃO: TOPEJAMENTO ACABADO

DESCRIÇÃO	HORA/VARA							
	DIÂMETRO ATÉ 70,00 mm ALTURA DO ANEL (mm)				DIÂMETRO ACIMA DE 70,00 mm ALTURA DO ANEL (mm)			
	1.000	1.438	2.910	4.834	1.000	1.438	2.91	4.834
	A	A	A	A	A	A	A	A
	1.437	2.900	4.833	9.500	1.437	2.900	4.833	9.500
MATERIAIS	ANÉIS / PACOTE							
R,.V,M,F,Z,T,L,N,G,K,C,D,E	7 A 9	5 A 7	3 A 4	1 A 2	9 A 11	5 A 7	3 A 4	1 A 2
COMPRESSÃO E ÓLEO COMUM	x	x	x	x	x	x	x	x
COMPRESSÃO E ÓLEO P/ CROMAR E METALIZAR	x	x	x	x	x	x	x	x
MATERIAIS								
A,B,J,W,Y,X								
COMPRESSÃO E ÓLEO	x	x	x	x	x	x	x	x
ANÉIS C/ ENCHIMENTO FERROX								
MATERIAIS								
R,F,V,M,Z,T	x	x	x	x	x	x	x	x
N	x	x	x	x	x	x	x	x
SET - UP HORA/LOTE: 0,25				%IMPRODUTIVIDADE: 12				
REFERENCIAL DE ANÉIS POR HORA:				OBSERVAÇÕES:				
COMPRESSÃO COMUM				f				
COMPRESSÃO CROMADO				f				
COMPRESSÃO METALIZADO				f				
ÓLEO COMUM				f				
ÓLEO CROMADO				f				

DATA: JAN. 1991

REVISÃO: 11 - FEV. 2001

GM: 5200 A 5201

TABELA: 33

OPERAÇÃO: RETÍFICA DE TOPO / CHANFRO BRUTO E ACABADO

DESCRIÇÃO	HORA/100 ANÉIS				
MÁQUINA SIM /COFAP/DIMACO	ALTURA NOMINAL (mm)				
	1.000	1.438	2.910	4.834	
	A	A	A	A	
	1.437	2.900	4.833	8.500	
MATERIAIS R,M,V,L,N,G,C,D,E,Z,W,Y,A,B,J,X,F,T	ANÉIS / PACOTE				
	TODOS OS DIÂMETROS	8 A 11	5 A 7	3 A 4	1 A 2
	ANÉIS DE ÓLEO	X	X	X	X
	ANÉIS DE COMPRESSÃO	X	X	X	X
ANÉIS DE AÇO	X	X	X	X	
MÁQUINA PUSH THROUGH	ALTURA NOMINAL (mm)				
	1.000	1.731	2.117	2.722	3.811
	A	A	A	A	A
	1.731	2.116	2.721	3.810	4.500
TODOS OS DIÂMETROS	ANÉIS/PACOTE				
	11 A 16	9 A 10	7 A 8	5 A 6	ATÉ 4
	ANÉIS CROMADOS E METALIZADOS	X	X	X	X
X	X	X	X	X	
SET-UP HORA/LOTE:	SIM/COFAP/DIMACO 0,25			% IMPRODUTIVIDADE: 10	
	PUSH THROUGH 2,00			20	
REFERENCIAL DE ANÉIS POR HORA:			OBSERVAÇÕES:		
MÁQUINA SIM/COFAP/DIMACO					
ANEL COMPRESSÃO	f				
ANÉIS AÇO	f				
ANEL ÓLEO	f				
PUSH THROUGH					
ANEL CROMADO/METALIZADO	f				

DATA: JAN. 1991

REVISÃO: 11 - FEV. 2001