



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
CAMPUS DE GUARATINGUETÁ

**MODELO DE FLEXIBILIDADE DE MANUFATURA EM
PROCESSOS DE SUBMONTAGEM**

Guaratinguetá

2011

THIAGO MARTINS MONTI

MODELO DE FLEXIBILIDADE DE MANUFATURA EM PROCESSOS DE
SUBMONTAGEM

Trabalho de Graduação
apresentado ao Conselho de Curso de
Graduação em Engenharia Mecânica da
Faculdade de Engenharia do Campus de
Guaratinguetá, Universidade Estadual
Paulista, como parte dos requisitos para
obtenção do diploma de Graduação em
Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. MSc Bruno Chaves Franco

Guaratinguetá

2011

Monti, Thiago Martins
M79 Modelo de flexibilidade de manufatura em processos de submontagem /
1m Thiago Martins Monti – Guaratinguetá : [s.n], 2011.
80 f : il.
Bibliografia: f. 73-80

Trabalho de Graduação em Engenharia Mecânica – Universidade
Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2011.
Orientador: Prof. M. e. Bruno Chaves Franco

1. Processo decisório 2. Clima organizacional I. Título

CDU 65.012.4



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
CAMPUS DE GUARATINGUETÁ

MODELO DE FLEXIBILIDADE DE MANUFATURA EM PROCESSOS DE
SUBMONTAGEM

THIAGO MARTINS MONTI

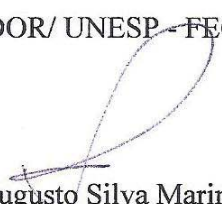
ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE **GRADUADO EM**
ENGENHARIA MECÂNICA

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

Prof. Dr. Mauro Hugo Mathias

BANCA EXAMINADORA:


Prof. MSc Bruno Chaves Franco
ORIENTADOR/ UNESP - FEG


Prof. Dr. Fernando Augusto Silva Marins
UNESP – FEG


Prof. MSc Ricardo Batista Penteado
UNESP- FEG

Dezembro de 2011

DEDICATÓRIA

de modo especial, à minha família e amigos, que representam força vital para o meu desempenho, através do poder de incentivar e inspirar cada conquista e cada desafio presente no meu caminho.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar a minha família e meus amigos,

ao meu orientador, Prof. Bruno Chaves Franco que me incentivou e buscou, juntamente comigo, novos conhecimentos e desafios. Sem a sua orientação, dedicação e auxílio, o estudo aqui apresentado seria praticamente impossível,

aos meus pais Marcelo e Rosana, que apesar das dificuldades enfrentadas, sempre incentivaram meus estudos,

à Myrian Franqueira Castello, Mateus Machado da Mota, Marcelo Faria Renó, Leandro Alves da Silva e Lucas Andrade Rodrigues, que foram e são, desde sempre, pessoas muito importantes em minha vida e ótimos amigos.

à Rosana Maria Pereira Maciel e todas as funcionárias da Biblioteca do Campus de Guaratinguetá, que sempre me atenderam com alegria, dedicação, presteza e principalmente força de vontade,

à General Motors do Brasil, em particular na pessoa do engenheiro João Claudio Siqueira, pelos conhecimentos compartilhados e a amizade.

“O único lugar onde o sucesso vem antes do trabalho
é no dicionário”

Albert Einstein

MONTI, T. M. **Modelo de Flexibilidade de Manufatura em Processos de Submontagem**. 2011. 79 f. Trabalho de Graduação em Engenharia Mecânica - Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Guaratinguetá, 2011.

RESUMO

Através de observação do processo produtivo de uma indústria automobilística do Vale do Paraíba, pode-se deparar com necessidades de melhorias ligadas as grandes incertezas e variações no ambiente produtivo, fato que inspirou a busca por soluções capazes de responder rapidamente as estas mudanças.

Desta maneira, este trabalho descreve o desenvolvimento de um modelo de flexibilidade de manufatura, que visa otimizar o processo submontagem em uma indústria automobilística do Vale do Paraíba. O objetivo principal é propor um método capaz de promover alternativas viáveis para flexibilização da montagem de subconjuntos realizados paralelamente a montagem de automóveis. Para a construção do modelo foi necessário explorar conceitos de flexibilidade de manufatura e tomada de dados apresentados em literatura, os quais foram primordiais para garantir o desenvolvimento do método. Os conceitos abordados são, normalmente, apresentados durante um curso de graduação em Engenharia. Os dados compilados pelo modelo são capazes de servir como referencial estratégico, para tomada de decisão por parte dos gestores. Apresentando alternativas de resposta as variáveis e incertezas do ambiente organizacional, fato que facilita a administração dos recursos humanos e produtivos.

PALAVRAS-CHAVE: flexibilidade de manufatura, submontagem, tomada de decisão, ambiente organizacional.

MONTI, T. M. **Model of Flexible Manufacturing Subassembly Process**. 2011. 80 f. Mechanic Engineering Graduation Work - Engineering College of Guaratinguetá, São Paulo State University (UNESP), Guaratinguetá, 2011.

ABSTRACT

Through observation of production process of a Vale do Paraíba's automobile industry, one can encounter in need of improvement related to large uncertainties and variations in the production environment, a fact that inspired the search for solutions that can respond quickly to these changes.

This way, the paper describes the development of a flexible manufacturing model, which aims to optimize the process in an automotive sub-assembly industry of the Paraíba Valley. The main objective is to propose a method to promote viable alternatives to easing the assembly of parallel sub performed the assembly of cars. For the construction of the model was necessary to explore concepts of flexible manufacturing and making the data presented in literature, which were vital to ensure the development of the method. The concepts discussed are usually presented at an undergraduate degree in Engineering. Data compiled by the model are able to serve as a strategic benchmark for decision making by managers. Featuring alternative response variables and uncertainties of the organizational environment, a fact that facilitates the management of human resources and productive.

KEY-WORDS: flexible manufacturing, subassembly, decision making, organizational environment.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Modelo de resolução de problemas (adaptado de Mitroff et al. 1974).....	19
Figura 2: Estrutura do trabalho (Fonte Miguel, 2007)	20
Figura 3: Fatores causais da necessidade de flexibilidade (Kara & Kayis, 2004)	28
Figura 4: Dimensões de flexibilidade de manufatura (Koste & Malhotra, 1999).....	32
Figura 5: Tipos de flexibilidade e respectivas definições (Vokurka & O’Leary-Kelly, 2000).....	33
Figura 6: Hierarquia das dimensões da flexibilidade (Koste & Malhotra, 1999)	35
Figura 7: Disposições de flexibilidade x incertezas (Adaptado Kara & Kayis, 2004)..	36
Figura 8: Modelo para integração da flexibilidade na organização e fornecedores (Ndubisi et al., 2005)	38
Figura 9: Quadro de como lidar com a incerteza (Gerwin, 1993).....	40
Figura 10: Relação de atividade de monitoramento e escolha da estratégia de flexibilidade (De Treville et al., 2007)	43
Figura 11: Relação entre estratégias de flexibilidade e resultados (De Treville et al., 2007).....	44
Figura 12: Modelo para flexibilidade do sistema (Oke, 2005).....	46
Figura 13: Modelo para implementação de flexibilidade em manufatura (Boyle, 2006)	50
Figura 14: Modelo para integração da flexibilidade (Narain et al., 2000)	51
Figura 15: Método de tomada de tempo desenvolvido	55
Figura 16: Método de desenvolvimento de modelo criado	58
Figura 17: Simulação a partir de dados atuais.....	64
Figura 18: Simulação a partir de dados planejados, sem alteração	65
Figura 19: Simulação a partir de dados planejados, com adição de mão-de-obra	65
Figura 20: Simulação a partir de dados planejados, com reformulação dos postos.....	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Modelo para coleta de dados	55
Tabela 2: Dados das atividades	60
Tabela 3: Dados do processo.....	61
Tabela 4: Tabela de dados da Carga de Trabalho atual x prevista	62
Tabela 5: Posto de trabalho considerando dados do modelo.....	63
Tabela 6: MIX adotado na simulação da flexibilidade mista.....	68
Tabela 7: Simulação do Caso 1	69
Tabela 8: Simulação do Caso 2	69

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	12
1.1.	Contextualização do problema.....	13
1.2.	Objetivo da pesquisa.....	14
1.2.1.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
1.3.	Delimitação.....	15
1.4.	Método da pesquisa	16
1.5.	Estrutura do trabalho.....	22
2.	FLEXIBILIDADE DE MANUFATURA.....	23
2.1.	Definição e Histórico de Flexibilidade de Manufatura	23
2.2.	Motivos da demanda empresarial por flexibilidade	25
2.3.	Dimensões, elementos e características	28
2.4.	Flexibilidade de manufatura na cadeia de suprimentos.....	37
2.5.	Flexibilidade de manufatura e a estratégia empresarial	39
2.6.	Flexibilidade de manufatura e desempenho empresarial	45
2.7.	Implementação da flexibilidade em manufatura e seus indicadores	47
3.	PESQUISA EMPÍRICA	53
3.1.	Informações sobre a empresa pesquisada	53
3.2.	Instrumento de coleta de dados	54
3.3.	Modelagem.....	56
3.4.	Análise dos resultados	63
4.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	70
4.1.	Verificação dos objetivos.....	71
4.2.	Sugestões para trabalhos futuros	71
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	73

1. INTRODUÇÃO

O período responsável por caracterizar este trabalho, e representar o processo de desenvolvimento mais intenso já registrado dentre as outras eras, é a Idade Contemporânea, a qual deu início ao amadurecimento dos ideais iluministas disseminadas pela Revolução Francesa, contribuindo com o progresso científico na busca de novos conhecimentos para entender o homem e a sociedade, assim como o progresso econômico e tecnológico que protagonizaram a Revolução Industrial e mantém um desenvolvimento contínuo, devido às alterações constantes que ocorrem na história humana nas últimas décadas.

Quando se aborda estas transformações e inovações em um período muito curto de tempo que ocorreram nos últimos anos, e compara-se com registros cronológicos da história humana analisados por Branco & Vergara (2001), através de uma divisão dos últimos 50 mil anos em períodos de 62 anos cada um, pode-se dizer que a maior parte do conhecimento e dos bens materiais hoje utilizados e concebidos pelo homem representam apenas 0,125% destes anos de nossa história e muito provavelmente foram responsáveis por desencadear uma intensa reestruturação em atividades industriais e de serviços, assim como em estruturas organizacionais e no comportamento humano.

Desta forma, ao longo das duas últimas décadas, as empresas industriais se depararam com um mercado caracterizado por mudanças sem precedentes (SCALA et al., 2006) e precisaram se manter competitivas, pois as características produtivas não eram mais as do passado como definiu Beach (2000), caracterizando uma demanda mais estável, com menor variedade de produtos e ciclos de vida mais longos. Portanto as organizações tiveram que lutar com menores lotes de produção, produtos personalizados, aumento dos níveis de concorrência estrangeira, alterações regulatórias e rápidas mudanças no mercado (CORREA, 1994).

Tendo em vista uma reação ao aumento das mudanças, a redução do ciclo de vida dos produtos e do comércio globalizado, Bengtsson & Olhager (2002) definem a flexibilidade como importante fonte de vantagem competitiva para manufatura. Com

este mesmo ponto de vista, podemos considerar outras definições como a de Serrão (2001) que defende a flexibilidade de manufatura como elemento de diferenciação da competitividade empresarial, afirmando que dentre as fontes mais difundidas como custo, tempo, qualidade e flexibilidade, é esta última que tem apresentado característica de elemento-chave para as organizações. Slack (2005), também cita a flexibilidade como uma fonte de vantagem competitiva e adverte a necessidade de dinamismo na manufatura, pois as operações devem ser administradas sob condições de variedade, riscos e incertezas, que permitem a continuidade dos processos produtivos. Dar uma olhada nas diretrizes para citação de autor no texto.

1.1. Contextualização do problema

Baseado na cadeia produtiva de automóveis no Brasil e nos conjuntos de peças e equipamentos a serem agregados ao produto final destaca-se a necessidade de integração de metodologias capazes de incorporar conceitos de flexibilidade de manufatura para viabilizar processos e suportar o sistema de melhoria contínua.

Porém de acordo com os conceitos explorados por Buffa & Miller (1979) em sistemas de produção orientados a produtos, há a definição de que o problema de programação e de sua flexibilidade deve ser resolvido durante o projeto, pois esta etapa representa o momento em que são estabelecidos o tempo de ciclo, o balanceamento e a seqüência de operações a serem realizadas durante a cadeia de valores. Tal definição pode representar um dos desafios atrelados a este trabalho, o qual caracteriza-se pela introdução da flexibilidade de manufatura em uma linha de produção já existentes e que opera em sistema mixado, com mais de um produto a ser montado em suas instalações.

Desta maneira, de acordo com os trabalhos de Slack (1993), Serrão (2001), a busca por introduzir a flexibilidade como uma solução para problemas inerentes ao

MIX produtivo, determina a necessidade de exploração e caracterização dos processos existente na indústria e dos tipos de flexibilidade que se adéquam melhor a proposta deste estudo.

A análise destes processos, encontrados em uma indústria automobilística localizada no Vale do Paraíba responsável pela produção simultânea de 5 modelos distintos através de *MIX* de produção, permitiu identificar variáveis capazes de justificar a necessidade de flexibilização da produção, diretamente relacionadas às submontagens inerentes aos modelos produzidos na mesma linha de montagem, e as prioridades responsáveis pela manutenção do processo e viabilidade de implementação de um modelo de flexibilidade diretamente ligado ao meio produtivo, que nesse caso destaca-se por ser majoritariamente mão-de-obra humana.

1.2. Objetivo da pesquisa

Propor um método capaz de promover alternativas viáveis para flexibilização da montagem de subconjuntos realizados paralelamente a montagem de automóveis.

1.2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Listar operações relacionadas à submontagem;
- Definir método de análise conceitual-teórico relacionado à flexibilidade de manufatura;
- Obter dados inerentes as operações relacionadas;
- Propor soluções inerentes a viabilidade de *MIX* produtivo;

- Avaliar soluções.

1.3. Delimitação

Através da proposta deste trabalho, em busca de alternativas de flexibilização aplicáveis a indústria automobilística, decidiu-se criar um modelo capaz de identificar oportunidades viáveis para gestão do processo produtivo de automóveis. Porém, tendo em vista a grande variedade e heterogeneidade dos processos, optou-se por desenvolver um modelo baseado na produção de subconjuntos da linha de montagem de uma Montadora do Vale do Paraíba.

Tal decisão torna indispensável expor as delimitações do processo, visto que o modelo foi totalmente baseado em dados e características específicas de uma área da empresa, mesmo que esta proposta possa se estender a outras áreas, deve-se considerar relevantes as informações necessárias para o desenvolvimento ou aprimoramento do modelo.

A partir destas premissas podemos destacar as principais delimitações do modelo, como sendo:

- Base de Dados, proveniente das operações de submontagem da linha de montagem de uma indústria automobilística do Vale do Paraíba;
- *MIX* de produção, alterna aleatoriamente entre cinco modelos de produto na linha de montagem, podendo haver seqüências do mesmo modelo;
- *Layout*, caracterizado pelas atividades de submontagem que não se apresentam em uma área específica, podendo ser realizadas paralelamente a linha de montagem ou na própria linha;
- Processo, onde as atividades são realizadas em bancada ergonomicamente projetada ou de maneira padronizada na linha. Todas atividades são

manuais, contemplando apenas mão-de-obra dos operadores e utilização de ferramentas;

- Produto, cujas peças e conjuntos montados fazem parte do produto final, devendo assim seguir os padrões e especificações determinados em projeto;
- Carga de trabalho, a qual varia de acordo com o *MIX* e restrições do operador, é indispensável para determinar o balanceamento das atividades.

Tais delimitações são a base para o escopo do modelo, e através delas serão realizadas simulações e tomadas de dados para o modelo proposto.

1.4. Método da pesquisa

A gestão de sistemas produtivos ou de serviços envolve um conjunto de decisões relacionadas às diversas atividades incorporadas ao planejamento, as quais podem caracterizar-se por estratégicas, táticas ou operacionais. Estas atividades apresentam-se relacionadas e limitadas por vários fatores, que interferem na tomada de decisão oportuna, de maneira a levar os gestores em busca da maneira na qual o sistema opere da melhor forma possível. Para melhor compreensão dos fatos, são amplamente utilizados modelos, responsáveis por formular estratégias e oportunidades e apoiar e sistematizar o processo de tomada de decisão (MIGUEL et al., 2010).

Usualmente os modelos são definidos como representações de situações ou realidade, conforme interpretada por uma ou mais pessoas, e construída de forma a auxiliar ao tratamento daquela situação de uma maneira sistemática. E segundo Arenales (2007) a abordagem científica para auxiliar no processo de tomada de decisão, que procura determinar como melhor projetar, planejar e operar sistemas, que requerem alocações eficientes de recursos escassos, é a pesquisa operacional, a qual aplica de modelagem quantitativa como cerne de sua metodologia.

A pesquisa em gestão de produção e operações, segundo Meredith (1989) e Craighead e Meredith (2008), pode ser abordada em dois padrões principais de pesquisa: segundo a orientação do autor e a fonte de dados.

Quanto à orientação do autor, pode-se diferir por ser racional (altamente dedutiva, axiomática) ou existencial (indutiva, interpretativa), já relacionado à fonte de dados esta pode apresentar-se como natural (empírica, diretamente observada) ou artificial (tipicamente uma reconstrução hipotética).

Isto implica na pluralidade dos tipos de pesquisa operacional, obtidos através da combinação de padrões, que podem desenvolver desde pesquisas altamente racionalistas, com análise axiomática baseada em reconstrução da realidade até mesmo pesquisas mais interpretativas, baseadas em interpretações naturais e experiências diretas da realidade. Dentre elas estão:

- Pesquisa axiomática quantitativa normativa
- Pesquisa axiomática quantitativa descritiva
- Pesquisa empírica quantitativa normativa
- Pesquisa empírica quantitativa descritiva

Por conveniência e baseado no objetivo deste trabalho, adotou-se a Pesquisa Empírica Quantitativa Normativa, como o método a ser utilizado para desenvolvimento do modelo de análise de flexibilidade para o processo de submontagem proposto anteriormente.

Segundo Morabito e Pureza (2010), este método visa o desenvolvimento de políticas, estratégias e ações que melhorem a situação corrente. Diferentemente da pesquisa descritiva, a qual se baseia em modelos que prescrevem uma decisão para problemas, podendo ser baseada em modelos de otimização ou programação matemática.

Geralmente, a construção de tais modelos envolvem dois processos de abstração, o primeiro é através da descrição verbal de uma fração das variáveis originais que definem o comportamento do sistema e o segundo é a construção de um modelo

matemático analítico ou experimental de simulação, responsável pela representação satisfatória do sistema e as suas variáveis.

Desta maneira percebe-se que para validar o modelo a partir de solução coerente deve-se levar em conta a análise qualitativa antes da quantitativa, buscando atender os objetivos e restrições do sistema, mesmo considerando simplificações razoáveis do modelo conceitual.

Para atender o objetivo geral deste trabalho, buscou-se identificar o modelo que melhor se enquadraria na proposta de flexibilidade de manufatura relacionada às operações de submontagem. Desta maneira adotou-se uma apresentação mais analítica do sistema, representada através de um Modelo de Programação Matemática, o qual segundo Morabito e Pureza (2010), representa as alternativas ou escolhas desse problema como variáveis de decisão, procurando através delas minimizar ou maximizar uma função objetivo, no caso deste trabalho: a busca da flexibilidade de manufatura em processos de submontagem.

O processo de modelagem empregado é bastante simples e segue a abordagem de solução de problemas, apresentado por Mitroff et al. (1974) , quando se refere a modelagem matemática, assim como é apresentado na figura 1. Trata-se de um modelo que contempla uma visão sistêmica, representada por seis processos básicos:

- Conceituação, a qual engloba a primeira etapa de abstração, contemplando a interpretação do caso real ou partes dele em um modelo conceitual;
- Modelagem, caracterizada pela representação científica do modelo conceitual;
- Resolução do modelo, que contempla todo o processo de solução do modelo científico;
- Feedback, responsável pela análise da consistência da solução obtida considerando-se o modelo conceitual;
- Implementação, o qual é o processo de aplicação da solução obtida na realidade ou situação problema;

- Validação, caracterizada pela verificação do modelo científico e sua correspondência à realidade ou ao recorte da realidade considerado.

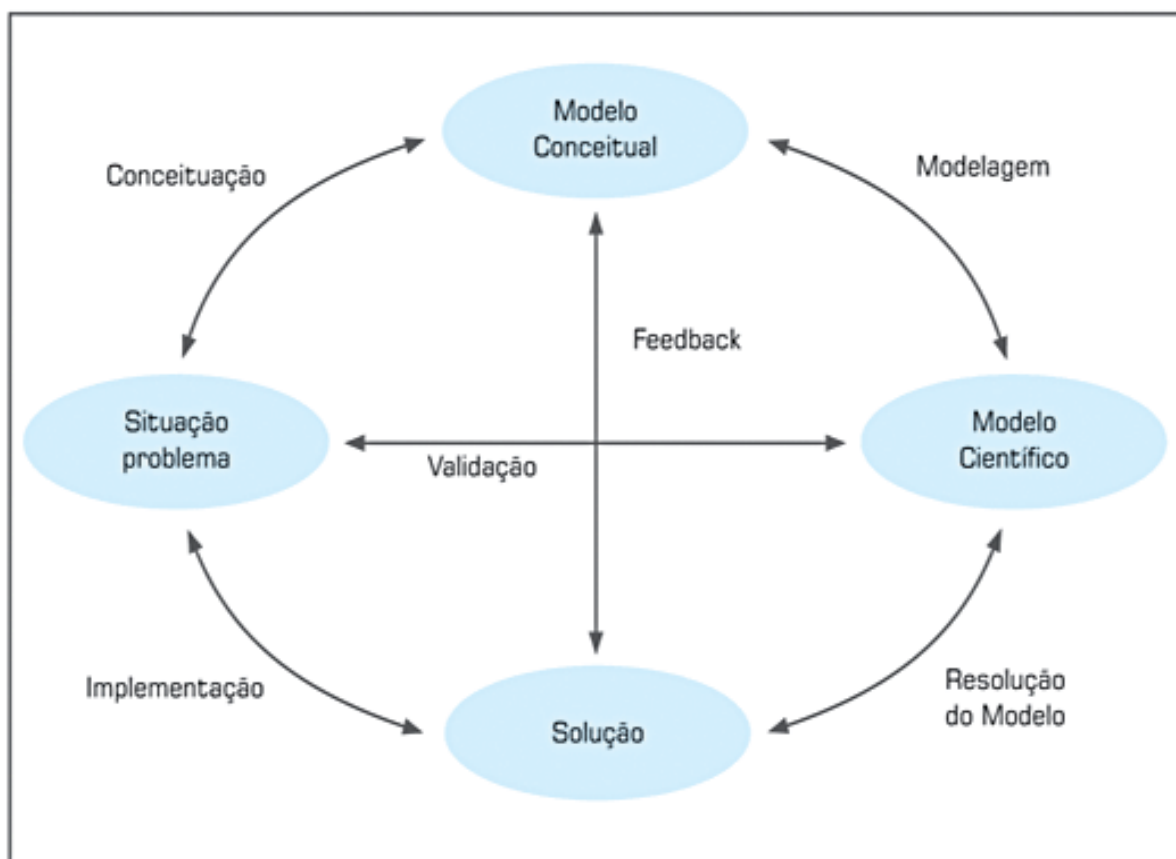


Figura 1: Modelo de resolução de problemas (adaptado de Mitroff et al. 1974)

Para alcançar maior compreensão do tema e resultados mais tangíveis, este trabalho é baseado nos estudos de análise de risco e tomada de decisão em flexibilidade de manufatura apresentados na Tese de Doutorado de Oliveira (2009).

Os objetivos propostos direcionam o trabalho para a análise do sistema produtivo de subconjuntos de uma linha de montagem automobilística, com foco no desenvolvimento de soluções práticas e baseadas no cotidiano fabril, que adota como solução provisória para a modelagem do método, a pesquisa empírica quantitativa normativa, desenvolvida a partir da conjectura de que o processo produtivo é completamente dependente da mão-de-obra humana e todas as incertezas inerentes a

flexibilidade de manufatura, estão relacionadas ao *MIX* produtivo e as instabilidades relacionadas a ferramentas e controle de produção.

A proposta de conteúdo e seqüência para a estruturação e condução deste trabalho é baseada no trabalho de Miguel (2007), Figura 2, e é construída com base nos trabalhos de Forza (2002), Croom (2005) e Souza (2005). Cada uma das etapas é brevemente apresentada com maior detalhes, na sequencia da figura.

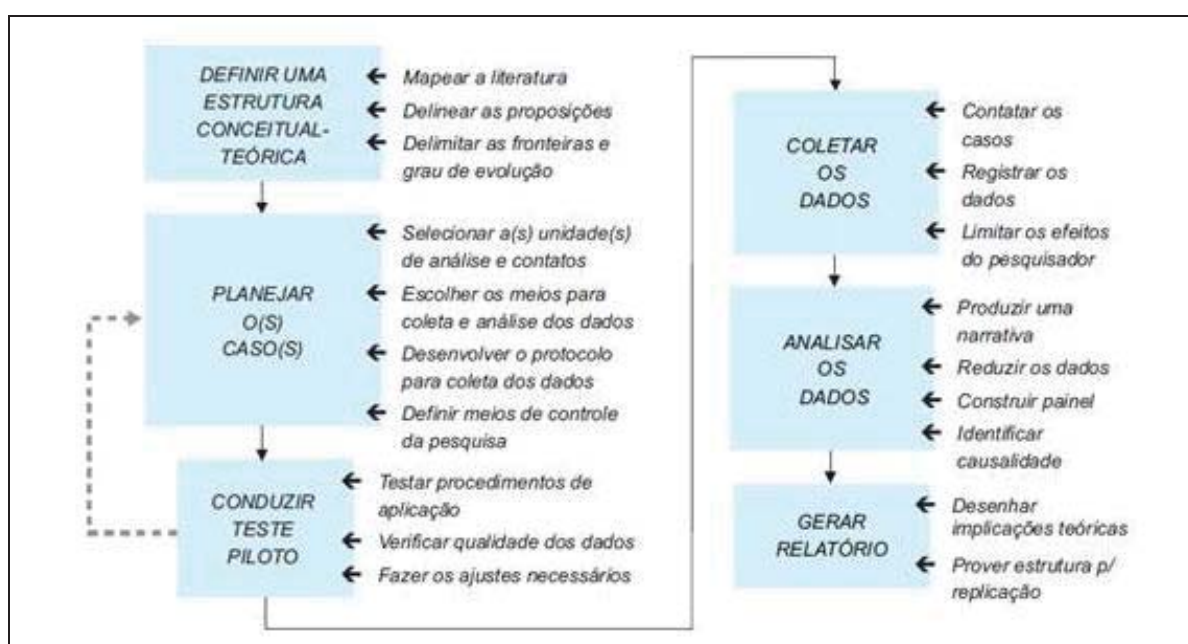


Figura 2: Estrutura do trabalho (Fonte Miguel, 2007)

- a) **DEFINIÇÃO CONTEXTUAL TEÓRICA:** Definir um referencial conceitual-teórico para o trabalho, de forma a resultar em um mapeamento da literatura sobre o assunto, o qual localiza o tópico de pesquisa no contexto da literatura disponível sobre o tema (CROOM, 2005)
- b) **PLANEJAMENTO DOS CASOS:** Determinação da quantidade de casos (YIN, 2001), resultando em vantagens e dificuldades em cada um desses tipos, além do recorte de tempo, que também é importante, resultando em casos retrospectivos (investigação do passado, através de coleta de dados históricos)

ou longitudinais (investigação do presente, desconsiderando casos retrospectivos).

- c) **CONDUÇÃO DE UM TESTE PILOTO:** Verificação dos procedimentos de aplicação com base no protocolo, visando seu aprimoramento. Através da aplicação, pode-se verificar a qualidade dos dados obtidos e, portanto, identificar se estão de acordo com os constructos e, conseqüentemente, se atendem aos objetivos da pesquisa.
- d) **COLETA DE DADOS:** Os dados devem ser coletados a partir de instrumentos definidos no planejamento. As habilidades consideradas devem seguir os seguintes fatores (YIN, 2001): capacidade de formular questões adequadas e interpretar as respostas observar sem aplicar qualquer tipo de preconceito; bom embasamento (teórico) no tema abordado; receptividade e sensibilidade às possíveis evidências contraditórias; adaptação e flexibilidade às situações novas e/ou não previstas, considerando-as como oportunidades e não ameaças.
- e) **ANÁLISE DE DADOS:** Tendo como base o conjunto de dados coletados e considerando as múltiplas fontes de evidência, deve-se gerar uma espécie de narrativa geral do caso, citando os dados e as características qualitativas e quantitativas do modelo proposto.
- f) **GERAR RELATÓRIO:** Organizar o conjunto de atividades das etapas anteriores, que deverão ser sintetizados neste trabalho, assim representando todo embasamento teórico, prático e analítico utilizados pela pesquisa empírica quantitativa, realizada durante o processo de modelagem proposto.

1.5. Estrutura do trabalho

Este trabalho está dividido em 3 capítulos, além desde introdutório.

No capítulo 2 apresentam-se os conceitos de flexibilidade de manufatura, que englobam desde sua definição histórica, até sua contextualização teórica e estratégica, capaz de dimensionar o desempenho e as necessidades de implementação da flexibilidade.

O capítulo 3 é responsável por apresentar os dados relevantes ao desenvolvimento da pesquisa, como: informações da empresa, instrumento de coleta de dados e a modelagem que foi feita, assim como algumas simulações capazes de caracterizar o processo.

O último capítulo deste trabalho, apresenta as conclusões alcançadas a partir do modelo criado e a verificação dos objetivos, assim como recomendações para futuras pesquisas.

2. FLEXIBILIDADE DE MANUFATURA

A abordagem literária de flexibilidade de manufatura, segundo Narasimhan et al. (2004), contém quatro temas distintos, porém relacionados:

- Fatores contextuais, no qual a incerteza ambiental de volume e variedade é o principal motivo para aplicação da flexibilidade em manufatura;
- Classificações e taxonomias de flexibilidade de manufatura, relevâncias da natureza multidimensional do constructo;
- Antecedentes da flexibilidade, contextualização das principais influências estruturais e de infra-estruturas, como é o caso da tecnologia aplicada, mão-de-obra, gestão da cadeia de suprimentos, projeto do trabalho e controle de produção;
- Relação entre a flexibilidade de manufatura e os aspectos do desempenho do processo produtivo.

Através destes quatro temas distintos que serão explorados esses e outros aspectos de flexibilidade de manufatura, ou seja, aspectos que contemplem desde o histórico, os conceitos envolvidos, a definição de flexibilidade, as taxonomias (tipologia), as relevâncias e a contextualização da flexibilidade de manufatura no universo empresarial, ressaltando sua relação com a competitividade, entre outros aspectos importantes e ligados ao tema.

2.1. Definição e Histórico de Flexibilidade de Manufatura

Alguns autores consideram a flexibilidade como uma referência estratégica atual, de maneira a comparar sua importância ao gerenciamento científico do início do século XX e a qualidade que emergiu em meados do mesmo século, como é o caso de

Suarez et al. (1995). O conceito também defendido por De Toni & Tonchia (1998) vincula a importância de sua aplicação às consequências da instabilidade dos anos 70 e ao crescimento da competição, que se iniciou nos anos 80 com a Globalização.

Historicamente, identifica-se que pesquisas em flexibilidade de manufatura começam a ser desenvolvidas a partir da década de 30, na administração de operações sob condições de variedade e incertezas e já no final dessa década, desenvolve-se pesquisas relacionando a flexibilidade de volume através de pequenos lotes de produção, como pode ser constatado através de Stigler (1939 apud UPTON, 1995, p. 207). Na década de 60, os trabalhos de Nelson (1967 apud KOSTE & MALHOTRA, 1999, p. 80) e Skinner (1969 apud BOYLE 2006, p. 7) ampliam a atuação da flexibilidade de manufatura, relacionando-a com sistemas limitados de produção e classificando-a como um dos quatro objetivos da manufatura, juntamente com os custos de produção, entrega e qualidade.

Em meados da década de 70, Fryer (1974) relaciona a flexibilidade com a mão-de-obra e a partir da década de 80, o assunto se torna referência para o interesse de vários pesquisadores que o exploraram sobre as mais variadas perspectivas.

Desta maneira, segundo Boyle (2006), nos últimos 50 anos, o conceito de flexibilidade de manufatura migrou da visão de maquinário capaz de executar funções estratégicas de manufatura como o caso da qualidade, da confiabilidade e da produtividade, para uma visão mais abrangente, a qual pode ser definida de maneiras diferentes por cada autor.

Tendo em vista as diferentes abordagens feitas sobre o assunto, pode-se ressaltar algumas das definições vinculadas a flexibilidade de manufatura:

- Vokurka & O’Leary-Kelly (2000) definem como a habilidade das empresas em reagir as mudanças inerentes as necessidades dos clientes, sendo elas mudanças imprevistas decorrentes de pressões concorrenciais. Este conceito esse também compartilhado por Pagell & Krause (1999; 2004) e Oke (2005);

- Watts et al. (1993) definem como a habilidade de implementação mudanças nos processos interno, de maneira eficaz e custo aceitável, em resposta as mudanças nas condições de mercado;
- Olhager (1993), define como a habilidade de se adaptar as mudanças de condições através de recursos existentes (em curto prazo) e da introdução de novos produtos, recursos e métodos de produção, no sistema de produção em vigor;
- Gerwin (2005) incorpora o conceito de gama, viabilidade e eficácia (desempenho e valor) das alternativas à flexibilidade de manufatura, através da premissa de que a flexibilidade esta atrelada ao leque de possibilidades de cada processo.

Desta maneira percebe-se que a abordagem do assunto é bastante heterogênea, possibilitando diferentes definições, assim como defende Serrão (2005), que caracteriza a flexibilidade de manufatura como um conceito multifacetado, que admite variações em sua definição, principalmente se for considerada a variedade de situações gerenciais e das maneiras com que os problemas podem ser apresentados, assim gerando interpretações personalizadas, ou ambigüidade em seu significado.

2.2. Motivos da demanda empresarial por flexibilidade

Ao analisar a demanda de mercado do passado através da variedade de produtos e o ciclo de vida mais longo, alguns autores puderam concluir que esta é mais estável, (CHAMBERS, 1995, apud BEACH et al., 2000, p. 42). Porém, no decorrer das ultimas duas décadas, segundo Scala (2006), o mercado passou por mudanças sem precedentes, que levaram as empresas a se depararem com uma nova realidade. A partir deste novo contexto as empresas tiveram que lutar por medidas que assegurassem sua competitividade no mercado, assim como: menores lotes de

produção, produtos personalizados, aumento dos níveis de concorrência estrangeira, alterações regulatórias e rápidas mudanças no mercado (CORREA, 1994).

Desta maneira, com a grande variedade de produtos e a crescente demanda dos consumidores por rápidas respostas, contemplados a um cenário em que a competição é cada vez mais acirrada, Slack (2005) defende a flexibilidade como solução para muitos problemas do gênero.

Portanto a flexibilidade tende a se tornar, de acordo com Bengtsson & Olhager (2002), uma fonte de vantagem competitiva para superar o aumento das mudanças, a redução do ciclo de vida dos produtos e o mercado globalizado. Fato que é abordado também, por Serrão (2001) quando defende que a flexibilidade pode ser caracterizada como um elemento da competitividade capaz de diferenciar as empresas, afirmando que se comparada com o custo, o tempo e a qualidade, a flexibilidade de manufatura tem se destacado como elemento-chave.

Percebe-se que Slack (1993) referencia e classifica a flexibilidade como uma fonte de vantagem competitiva, defendendo que para administrar as operações sob condições de variedade, riscos e incertezas, a manufatura deve apresentar-se flexível, fator que permite que o processo produtivo seja sólido. Dessa maneira, contribuindo para o desempenho do processo produtivo e a melhora das variáveis como a confiabilidade, custos e velocidade.

A flexibilidade torna as empresas capazes de produzir produtos, orientados para o cliente, com qualidade superior, manufaturados a custos mais baixos e alcançando respostas mais rápidas quando sujeitas a alterações do mercado (WAHAB et al., 2008). Desta maneira Correa (1994) deduz que a flexibilidade é advinda da necessidade de conviver com as incertezas e variabilidades do processo, responsáveis por propiciar mudanças planejadas (decisão consciente da organização) ou não planejadas (decisão independentemente da determinação da organização, que exige adaptação). A exemplo dessas mudanças, Kara & Kayis (2004) defendem que os fatores de alteração do tempo requerido por um cliente para a entrega de um produto pode ser melhor atendido quando há flexibilidade de manufatura.

A conceito de flexibilidade, da maneira que foi abordado até então, encontra respaldo nos estudos de De Treville et al. (2007), que defendem que a redução no tamanho dos lotes advinda da redução dos prazos/tempo, podem representar um aumento de mobilidade no processo. Justificando, assim, que o aumento dos prazos/tempo prejudica a flexibilidade e dificulta a capacidade de produção sob demanda, levando a empresa a voltar sua produção para a manutenção de estoques, possibilitando um descompasso na cadeia de suprimento.

Portanto de uma maneira generalizada, pode-se se dizer que os autores defendem que a redução do tempo do processo necessita primeiramente da redução da utilização dos recursos gargalo, da variabilidade do processo logístico e das taxas vinculadas a produção (redução no tamanho de lotes, por exemplo), fatores que possibilitam a alteração dos recursos vigentes, propiciando capacidade extra e produção em células. Desta maneira, Correa (1994) defende que a incerteza ambiental e a variabilidade nos resultados apresentam-se como as duas principais razões para a busca da flexibilidade de manufatura, pois podem ser determinantes no processo de alterações operacionais previstas e/ou não planejadas.

Assim este trabalho se baseia na representação de Kara & Kayis (2004) sobre as necessidades que levam a flexibilidade, apresentada Figura 3.

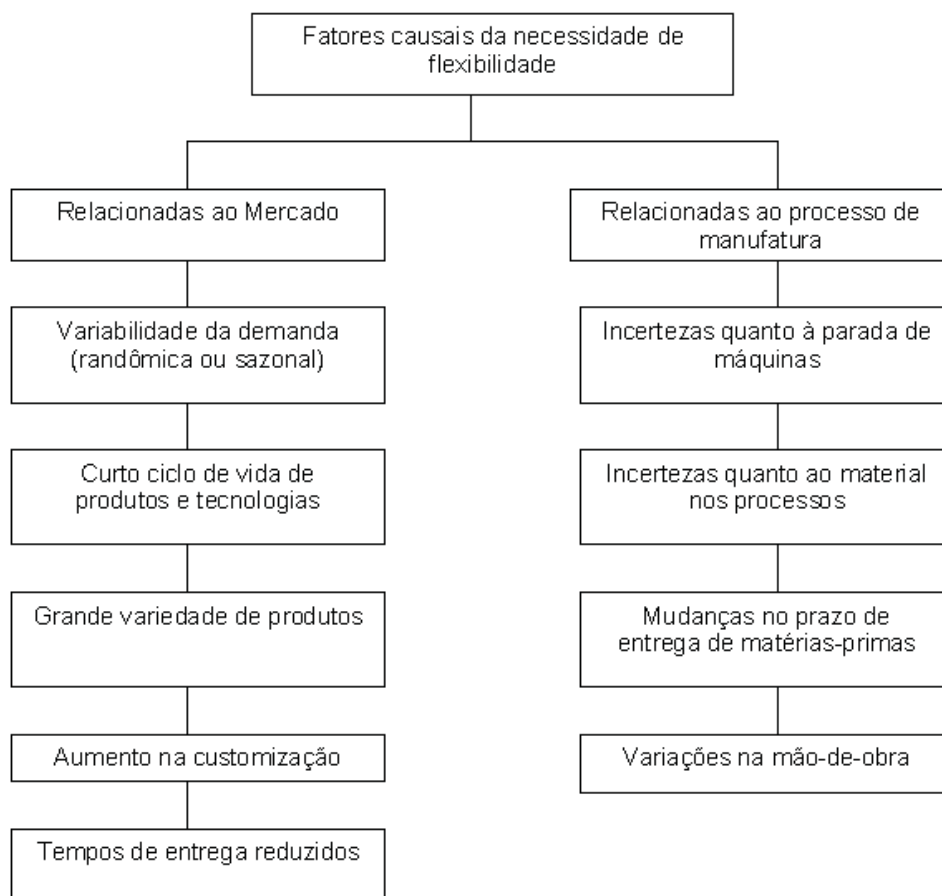


Figura 3: Fatores causais da necessidade de flexibilidade (Kara & Kayis, 2004)

2.3. Dimensões, elementos e características

A literatura que faz referência a flexibilidade de manufatura é muito abrangente, e capaz de apresentar o tema de formas variadas, assim como será apresentado nesta seção.

Considerando a caracterização do tema como um processo gradativo, inicia-se por Miller & Shamsie (1999) que definiram que os tipos de flexibilidade são decorrentes da existência de inúmeras incertezas, variadas, provenientes do ambiente externo, em que a empresa está inserida, ou até mesmo o nível mais básico de operações. Desta forma, Swamidass & Newell (1987), Beach et al. (2000), Kais &

Kara (2005) e Slack (2005) defendem que situações particulares de manufatura estão associadas aos diferentes tipos de incerteza e variações do ambiente, o que requer diferentes abordagens de flexibilidade.

Como um fator complementar, de acordo com Upton (1994, 1995) e Boyle (2006), diz-se que a flexibilidade em manufatura pode atuar em qualquer nível da empresa (desde estratégico, tático e operacional) e apresenta-se composta por vários tipos diferentes (como é o caso de, máquinas, roteirização, produto) que apresentam diferentes aspectos (por exemplo, flexibilidade potencial, real e necessária), a qual pode ser medida em termos do número de estados que podem ser alcançados, mobilidade (impactos por mudança em níveis operacionais) e uniformidade (alteração dos valores de desempenho, tais como qualidade, a partir das mudanças executadas).

A sensibilidade destes sistemas, em relação ao grau de mudanças toleradas para que não ocorra a deterioração do desempenho é abordado por Gupta & Buzacott (1989) que destacam a possibilidade de existência de diferentes níveis de sensibilidades as diversas mudanças no sistema de manufatura. Desta maneira, a sensibilidade é responsável por determinar se uma resposta a mudança é necessária ou não, enquanto a estabilidade do sistema diz respeito ao sistema ser capaz de responder.

Quanto à resposta do sistema, Koste & Malhotra (2000) abordam os impactos que podem ocorrer a partir de mudanças necessárias, que não se restringem apenas ao custo para adquirir ou desenvolver flexibilidade, mas abrangem fatores importantes como as dificuldades para implementação de alternativas, como por exemplo, alterações de tempo de produção, custo agregado a perdas na produção, refugos e retrabalhos devido a transição, entre outros.

Os conceitos mais simples desenvolvidos sobre flexibilidade até então, são o de Reid & Sanders (2005) que segmentam a flexibilidade de manufatura em dois tipos, a flexibilidade de customização e a outra a flexibilidade de volume, e o de Gaither & Frazier (2004) que também segmentam a flexibilidade de manufatura em dois tipos gerais: flexibilidade de volume (análise de carga de trabalho extra, estoques extras e programação da produção) e flexibilidade de produto (capacidade de alterar, de maneira eficaz, seu sistema produtivo para outros produtos).

A partir de Davis et al. (2001) começam a surgir abordagens mais complexas que detalham melhor os diferentes tipos de flexibilidade, para os autores existem três tipos distintos de flexibilidade: referente a velocidade em que um processo pode alterar sua produção, a capacidade de reação a variações e incertezas do volume de produção (processos que atendem a flutuações de volumes fora do especificado, são ditos mais flexíveis) e referente a habilidade de produção mais de um produto simultaneamente (quanto maior a gama de produtos fabricados ao mesmo tempo, mais flexível é o processo).

Para Slack (1983), por exemplo, existem quatro tipos de flexibilidade:

- Flexibilidade de novos produtos, que ressalta a habilidade de incorporação de novos produtos ou de modificação dos existentes no processo;
- Flexibilidade de mix, referente à habilidade de alterar a variedade de produtos que estão sendo produzidos em um período de tempo estipulado;
- Flexibilidade de volume, é a habilidade de alterar os níveis de output das operações;
- Flexibilidade de entrega, atrelada a logística e a programação de produção da empresa, é a habilidade de alterar as datas de entrega planejadas.

Percebe-se que a classificação e caracterização da flexibilidade, até então, é um processo qualitativo que agrega novas possibilidades a conceitos já consolidados, desta maneira toda a exposição teórica está vinculada de maneira complementar, como exemplo podemos citar o trabalho de Gupta & Goyal (1989), que definiram oito tipos de flexibilidade, que segundo Parker & Wirth (1999), é a mais comentada na literatura:

- Flexibilidade de máquina, é a habilidade de troca de ferramentas, reunindo ou montando as estruturas, com o menor tempo de setup possível.
- Flexibilidade de processo, é a habilidade de alterar a ordem necessária para executar uma tarefa, o que permite que diversificação do processo e o comprimento de tarefas diferentes, usando uma variedade de máquinas;
- Flexibilidade de produto, é a habilidade para mudar a produção para um novo

- produto, de maneira rápida e eficiente, respeitando um espectro de peças definido;
- Flexibilidade de rotina, é a habilidade de explorar diferentes seqüências de uso das máquinas (por exemplo, no caso de quebra) de modo a não afetar a produção de um determinado conjunto de peças. O fator que permite que esta habilidade exista é vinculado as diversas rotas de processamento disponíveis ou ao número de máquinas que uma mesma operação pode ser executada;
- Flexibilidade de volume, é a habilidade de operar um FMS (Flexibility Manufacturing Systems), basicamente um sistema de produção flexível, onde se atrela a lucratividade aos diferentes volumes de produção;
- Flexibilidade de expansão, é a capacidade de elaboração de um sistema atrelada a possibilidade de expansão do mesmo, conforme necessidade, de maneira fácil e modular;
- Flexibilidade de seqüência de processo, é a habilidade de alterar a ordem das operações inerentes a cada tipo de peça produzida;
- Flexibilidade de produção, é a habilidade de alteração de manufatura que considera variáveis como velocidade (rapidez) e custo (economia) para mudar o MIX de peças atrelado a qualquer produto que um sistema de manufatura flexível produza.

O último caso de flexibilidade citado só pode ser alcançado, quando todos os outros casos, já estão introduzidos ao sistema, ou seja, a flexibilidade de produção é dependente de todas as flexibilidades envolvidas no sistema.

A exemplo de Gupta & Goyal (1989), Koste & Malhotra (1999) também desenvolveram pesquisas relacionadas à flexibilidade de manufatura, e estabeleceram, dimensões de flexibilidade de manufatura, que estão representadas na Figura 4.

Dimensão	Definição
Máquina	O número e a heterogeneidade (variedade) de operações que uma máquina pode executar, sem incorrer em elevadas penalidades de transição ou grandes mudanças nos resultados de desempenho.
Mão-de-obra	O número e heterogeneidade (variedade) de tarefas/operações quem um trabalhador pode executar sem incorrer em elevadas penalidades de transição ou grandes mudanças nos resultados de desempenho.
Movimentação de material	O número de caminhos existentes entre centros de processamento e a heterogeneidade (variedade) de material que pode ser transportado ao longo desses caminhos sem incorrer em elevadas penalidades de transição ou grandes mudanças nos resultados de desempenho.
Roteamento	O número de produtos que tem rotas substitutas e a extensão das variações entre as rotas usadas sem incorrer em elevadas penalidades de transição ou grandes mudanças nos resultados de desempenho.
Operação	O número de produtos quem têm planos de seqüenciamento substitutos e a heterogeneidade (variedade) dos planos usados sem incorrer em elevadas penalidades de transição ou grandes mudanças nos resultados de desempenho.
Expansão	O número e a heterogeneidade (variedade) de expansões que podem ser acomodadas sem incorrer em elevadas penalidades de transição ou grandes mudanças nos resultados de desempenho.
Volume	A extensão das mudanças e o grau de flutuação no nível agregado de saídas que o sistema pode acomodar sem incorrer em elevadas penalidades de transição ou grandes mudanças nos resultados de desempenho.
Mix	O número e a variedade (heterogeneidade) de produtos que podem ser produzidos sem incorrer em elevadas penalidades de transição ou grandes mudanças nos resultados de desempenho.
Novos produtos	O número e a heterogeneidade (variedade) de novos produtos que são introduzidos na produção sem incorrer em elevadas penalidades de transição ou grandes mudanças nos resultados de desempenho.
Modificação	O número e a heterogeneidade (variedade) de modificações produtos que são realizados sem incorrer em elevadas penalidades de transição ou grandes mudanças nos resultados de desempenho.

Figura 4: Dimensões de flexibilidade de manufatura (Koste & Malhotra, 1999).

A partir da análise de dimensões realizadas, alguns autores começaram a atrelar, também, outras características a flexibilidade, que não envolviam diretamente o processo produtivo e o produto, como é o caso de Slack (2005), que baseado em um artigo próprio de 1983, abordou uma dimensão de flexibilidade denominada “flexibilidade de qualidade”, vinculada a habilidade das empresas em alterar os níveis de qualidade de seus produtos. O que implica, segundo o autor, na característica das organizações de apenas se interessar em melhorar a qualidade, mas não somente variá-la. Outra abordagem é a de Son & Park (1987), que defendem que a flexibilidade também esta atrelada a demanda, e pode ser definida como a adaptação do sistema de manufatura as incertezas e variações de demanda, medida através do custo de inventário de produtos e matérias-primas do processo.

Desta maneira, ampliando o horizonte de dimensões de flexibilidade, Vokurka & O’Leary-Kelly (2000), defendem doze dimensões, conforme a Figura 5.

Tipos e Definições de dimensões de flexibilidade	
Máquina	Gama de operações que um equipamento pode executar sem necessidade de maiores preparações (<i>setup</i>)
Movimentação de material	Capacidade do processo de manuseio de materiais de movimentar peças diferentes ao longo do sistema produtivo
Operações	Quantidade de processos alternativos pelos quais uma peça pode ser produzida no sistema
Mão-de-obra	Gama de operações que um operador pode executar no sistema de manufatura
Roteiro	Quantidade de caminhos alternativos que uma peça pode seguir ao longo do sistema produtivo para ser produzida
Produto	Tempo necessário para adicionar ou substituir novas peças no sistema
Novos projetos	Velocidade com que novos produtos podem ser desenhados e introduzidos no sistema
Entrega	Habilidade do sistema de responder às mudanças dos requisitos de entrega
Volume	Faixa (quantidade) na qual uma empresa pode produzir economicamente seus produtos
Expansão	Facilidade com que capacidade pode ser adicionada ao sistema
Produção	Gama de produtos que o sistema pode produzir sem adição de novos equipamentos
Mercado	Habilidade do sistema de manufatura de se adaptar às mudanças no ambiente de mercado

Figura 5: Tipos de flexibilidade e respectivas definições (Vokurka & O’Leary-Kelly, 2000)

A partir das considerações anteriores, alguns autores iniciaram estudos sobre a hierarquia existente entre as flexibilidades, de maneira a atrelar a elas uma espécie de vínculo, responsável pelo bom desempenho e correspondência dos resultados esperados. Como é o caso de Browne et al. (1984) que defendiam que as flexibilidades de máquina e de roteiro capacitariam a flexibilidade de produto, processo e operação, que por sua vez capacitariam as flexibilidades de volume e expansão, que de uma maneira geral propiciaria a flexibilidade de produção.

Koste & Malhotra (1999), definiram uma escala de flexibilidade, onde é estabelecida uma ordem hierárquica para as flexibilidades, responsável por apresentar potenciais relacionamentos entre elas, como por exemplo, de: recurso individual (máquina, mão-de-obra e movimentação de material), chão-de-fábrica (roteiro e operação), planta (volume, expansão, MIX, novos produtos e modificação), funcional

(organização de sistema, manufatura, mercado e P&D) e de unidade estratégica de negócios (estratégia)

Como continuidade deste estudo, Koste et al. (2004), acrescentou novas classificações, através de “gama” representando a quantidade de alternativas possíveis de gama referentes às diferenças entre as alternativas. O resumo gráfico do trabalho de Koste & Malhotra (1999) pode ser analisado na Figura 6.

A continuidade dos estudos hierárquicos, levantaram novas possibilidades relevantes as dimensões de flexibilidade, como foi o caso de Sawhney (2005), que defendeu o conceito de flexibilidade de qualidade de entradas, referente a capacidade do sistema em responder a variações de entrada, e respeitar a um intervalo de tolerância, que para Kara & Kayis (2004) é aplicado, também, no caso do maquinário não capacitado a responder a variação, assim possibilitando desvios e encaminhando a produção para outro equipamento correspondente.

Além de contribuir com a defesa da flexibilidade de qualidade de entradas, Kara & Kayis (2004) foram responsáveis pela definição da flexibilidade financeira, capaz de compensar trabalhadores pelo seu desempenho, como é o exemplo, do trabalho extraordinário.

Tendo em vista todas as dimensões já exploradas, Scala et al. (2006) apresentou, também, as seguintes flexibilidades, como uma demonstração geral das dimensões: trabalho (processo), entradas, mudanças de projeto, curto prazo, ação dinâmica (respostas rápidas e fáceis), estado (ou status) e de modificação (definida por Koste & Malhotra (1999) como a quantidade e heterogeneidade de modificações de produto).

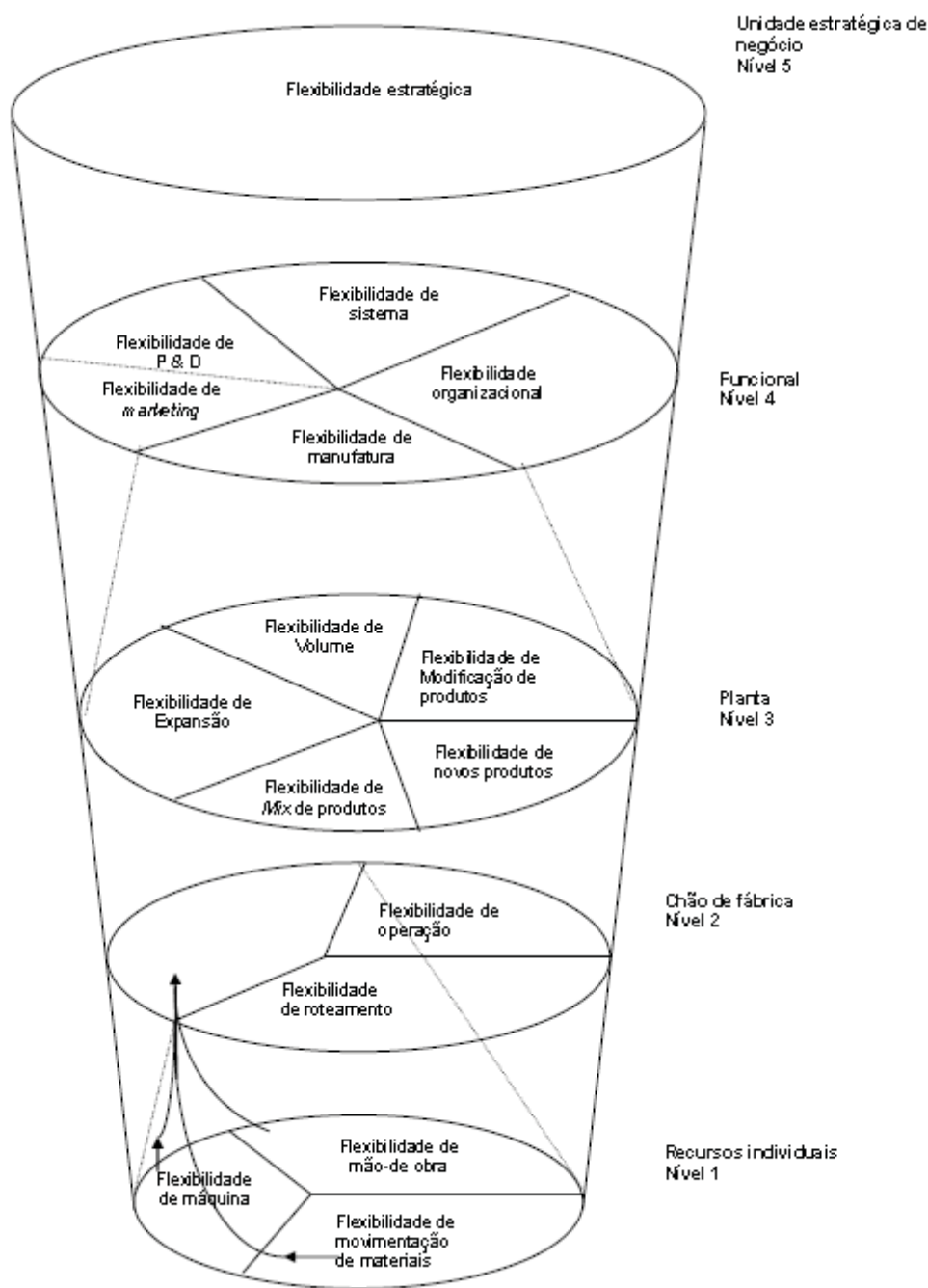


Figura 6: Hierarquia das dimensões da flexibilidade (Koste & Malhotra, 1999)

Baseado nas afirmações de Boyle (2006), Schemenner & Tatikonda (2005) e Gerwin (2005), este trabalho defende a flexibilidade como uma necessidade de resposta as incertezas no ambiente de manufatura, que sustenta o conceito de que para cada incerteza deve haver diretamente a necessidade de diferentes tipos de flexibilidade. Desta maneira, baseado no trabalho de Kara & Kayis (2004), apresenta-

se a Figura 7, onde os autores compilam mecanismos, ferramentas e técnicas de flexibilidade relacionadas as diferentes formas de incerteza e variações de manufatura.

Mecanismos, ferramentas e técnicas de flexibilidade		
Incerteza / variabilidade	Flexibilidade	Mecanismos, ferramentas e técnicas
Demanda	Volume	Produção em lotes com curto tempo de <i>setup</i>
	Expansão	Pequenas unidades de produção, células modulares de produção, máquinas multiuso e sistemas não-dedicados de movimentação de material
	Mão-de-obra	Trabalhadores multifunção, flexibilidade numérica (variação do tamanho da força de trabalho), temporários, horas-extra
	Controle	Subcontratação, excesso de trabalhadores e de capacidade tecnológica
Ciclos de vida de produto mais curtos	Movimentação de material	Layout e sistemas de movimentação adequados, AGV, dispositivos de uso geral, ergonomia
	Produto	CAD, CAM, CAPP, integração e coordenação, times multifuncionais com envolvimento de fornecedores, tecnologia de grupo, ferramentas de troca rápida e dispositivos flexíveis
	Máquina	Sofisticados sistemas de alimentação, ampla faixa de uso
	Processo	Centros de usinagem CNC, multiuso e adaptáveis
	Operação	Projeto adequado de peças
	Mão-de-obra	Trabalhadores multifunção, aprendizado contínuo
	Controle	Previsões eficientes
Diversidade de produtos	Produto	CAD, CAM, CAPP, times multifuncionais, tecnologia de grupo, ferramentas de troca rápida e máquinas CNC
	Mão-de-obra	Trabalhadores multifunção, aprendizado contínuo, times multifuncionais de projeto
	Mix/produção	Adição de flexibilidade de máquinas e equipamentos de movimentação
	Máquina	Sofisticados sistemas de alimentação, ampla faixa de uso
	Movimentação de material	Layout e sistemas de movimentação adequados, AGV, dispositivos de uso geral, ergonomia
	Operação	Projeto adequado de peças
	Controle	Terceirização, previsões, desenho modular, estoque de produtos semi-acabados
Curtos tempos de entrega	Entrega	Prazos curtos por toda a cadeia de suprimento, baixa variação dos tempos em toda a operação, rápidas mudanças de programação
	Máquina	<i>Setups</i> rápidos, ampla faixa de uso
	Mão-de-obra	Flexibilidade funcional, trabalhadores multifunção
	Roteiro	Máquinas multiuso, sobreposição de processos, <i>software</i> flexível
Máquina	Roteiro	Máquinas multiuso, sobreposição de processos, <i>software</i> flexível
	Operação	Projeto adequado de peças, reserva de tempo (<i>lead time</i>), subcontratação, fornecedores externos
	Reservas e controle	Treinamento dos trabalhadores, manutenção preventiva
Movimentação de material	Máquina	Alimentação flexível, retirada automática de cavacos
	Material	Sistemas automáticos de monitoramento, habilidades do operador, redução de fornecedores, relações mais próximas com fornecedores
	Controle	Garantia da qualidade, reserva de matéria-prima, boa comunicação/EDI
Mão-de-obra	Mão-de-obra	Trabalhadores multifunção, flexibilidade numérica (variação do tamanho da força de trabalho), temporários, horas-extra
	Controle	Subcontratação, ergonomia preventiva, plano de saúde da companhia, etc.

Figura 7: Disposições de flexibilidade x incertezas (Adaptado Kara & Kayis, 2004)

2.4. Flexibilidade de manufatura na cadeia de suprimentos

De acordo com a complexidade e a incerteza do ambiente no qual a empresa esta inserida, pode existir a necessidade de uma estrutura mais organizacional, integrada e estruturada de forma menos complexas em termos de hierarquias e funções, proporcionando, segundo Burnes & Stalker (1961 apud PAGELL & KRAUSE, 1999, p. 308), melhor adaptação as mudanças do ambiente. Dessa forma, Narasimhan et al. (2004) argumenta que a flexibilidade de manufatura de uma é dependente da capacidade de reação e da flexibilidade de seus fornecedores.

Esta abordagem de interdependência empresarial da cadeia de abastecimento é relevante, porque as incertezas têm o potencial de se acumularem e serem transmitidas ao longo da cadeia de valor. Segundo Sawhney (2005) um exemplo típico é relacionado às entregas tardias ou incompletas dos fornecedores, impactando diretamente no fluxo de bens e serviços da empresa, ou seja, resultando em não cumprimento da tarefa esperada. Esta interação entre flexibilidade e incerteza dentro da cadeia de valor tem como principal destaque a capacidade de ajudar a conceber estratégias de gestão mais eficientes e capazes de tornar o processo, mais bem sucedido (SAWHNEY, 2005).

Algumas empresas implementam, segundo Vokurka & O’Leary-Kelly (2000), diversos programas de melhoria que contribuem com sua flexibilidade, como é o caso do Just-in-time, técnicas de customização maciça, métodos de competição baseados no tempo e manufatura ágil.

Ndubisi et al. (2005) defenderam a flexibilidade na cadeia de suprimento, de maneira a destacar que não apenas a melhoria da capacidade do fabricante seria suficiente para responder as necessidades dos clientes, levando em conta o dinamismo e incertezas do mercado. Desta forma afirma-se que as ferramentas de manufatura, como manufatura ágil, enxuta, sincronizada, customização do produto e competição devem interagir com a cadeia de suprimento através de parcerias com fornecedores

qualificados e certificados, de maneira a garantir que os processos produtivos sejam integrados. Assim gerando uma relação, que pode ser observada na Figura 8 (apresentada pelos autores), entre as estratégias de seleção e gerenciamento dos fornecedores, parceiros, com a flexibilidade da manufatura na empresa.

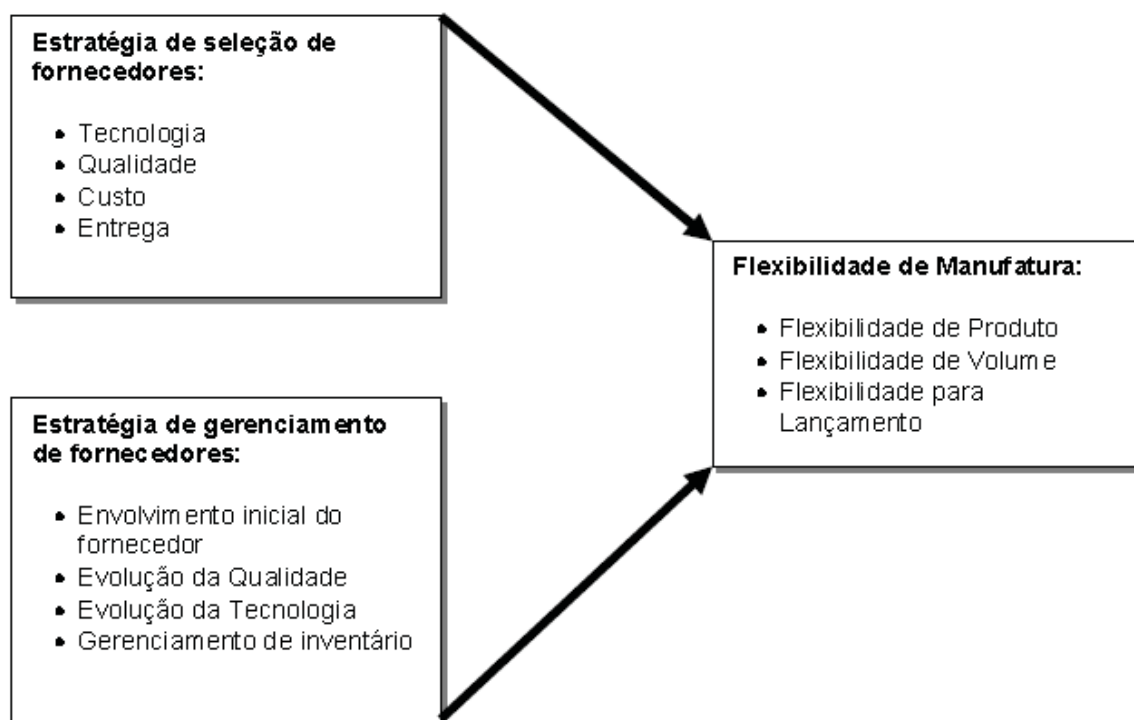


Figura 8: Modelo para integração da flexibilidade na organização e fornecedores (Ndubisi et al., 2005)

Portanto ao avaliar um fornecedor, deve-se considerar a flexibilidade de seus processos e insumos, conceito explorado por Sawhney (2005), visto que estes fatores podem determinar a resposta do fornecedor para as futuras necessidades da empresa.

Nos últimos anos, pode-se perceber uma tendência para a redução dos estoques através da construção das parcerias estratégicas, diferentemente da abordagem tradicional que dependia de estoques excedentes para lidar com as incertezas. Essas parcerias conseguem reduzir os custos devido a colaboração em domínios como design, melhoria de qualidade e redução de custos, porém podem penalizar o sistema a partir do aumento da exposição da empresa a incertezas vinculadas a seus parceiros,

visto que o número de fornecedores capazes de suprir as necessidades do cliente é menor (SAWHNEY, 2005).

Mabert & Venkataramanan (1998) defendem que a abordagem da cadeia de valor possibilita alternativas na configuração de flexibilidade, fazendo com que as decisões de um dos segmentos se estendam por todos ou outros segmentos da cadeia de suprimentos.

De uma maneira geral, todos segmentos da cadeia de abastecimento, apresentam formas de insegurança e de flexibilidade vinculados a seus outputs. Tal incerteza pode ser proveniente de uma mudança das expectativas dos clientes resultante de variações no mercado através de alterações no poder de compra, ações dos concorrentes, publicidade e ações governamentais. Todas estas variações afetam diretamente a demanda que passa a oscilar de acordo com as previsões de procura em termos de quantidade, calendário e especificações de produtos. Desta maneira, como alternativa, os clientes podem destacar-se como fonte de flexibilidade, através do fluxo de informações adequadas e antecipadas para seus parceiros possibilitando tempo para reação do sistema. A incorporação de flexibilidade à gama de produtos, aos prazos de entrega, ao volume e a oferta de novos produtos, também pode combater as incertezas externas (SAWHNEY, 2005).

2.5. Flexibilidade de manufatura e a estratégia empresarial

Os estudos de flexibilidade de manufatura tendem a explorar as relações teóricas existentes com a estratégia (GUSTAVSSON, 1984; SWAMIDASS & NEWELL, 1987; GUPTA & BUZACOTT, 1989; GERWIN, 1993; SUAREZ et al, 1995, 1996; BEACH et al., 2000; CHANG et al., 2003), mais especificadamente, aos potenciais fatores ambientais e organizacionais que interferem na estratégia, ou seja, no seu encaixe, correspondência ou congruência com o ambiente ou restrições enfrentadas

pela empresa (GINSBERG & VENKATRAMAN, 1985 e PAGELL & KRAUSE, 1999; 2004).

Alguns estudos defendem que a flexibilidade não deve, apenas, ser definida a partir de características de processo, segundo Van Wezel et al. (2006), deve-se considerar os fatores de programação e planejamento do processo produtivo.

Portanto, assim como Koste & Malhotra (1999) sugerem, a flexibilidade deve ser encarada como a combinação de fatores como físicos, políticos operacionais e práticas gerenciais de uma organização. Desta forma, seu conteúdo estratégico de manufatura incorporaria dimensões de qualidade, custos, dependência (sistemas de planejamento, controle, políticas de inventário, gerenciamento de fornecedores e capacidade, etc.) e flexibilidade, que assumiria variáveis como tempo de setup, economia de escala, tecnologia, sistemas de informação, Just-in-time, entre outras (SWAMIDASS & NEWELL, 1987).

Slack (2005) constatou, que a maioria das organizações convivem de forma pragmática com a flexibilidade, através de tentativas de reduzir suas necessidades, por meio de estabilização da flutuação de demanda e projeto modular de produtos, que limitam o processo de mudanças de produtos, gerando estoques ao invés de acompanhar variações de demanda, etc. Alguns métodos de resposta a incertezas foram introduzidos por Gerwin (1993) e podem ser identificados na figura 9.

Natureza da incerteza	Método de redução da incerteza	Método de adaptação
Aceitação do mercado aos tipos de produto	Contratos de longa duração com clientes	Curtos tempos de <i>setup</i>
Duração do ciclo de vida do produto	Práticas de sobrevida	Menos ferramental e maior integração na cadeia
Características específicas do produto	Times multifuncionais de projeto	Máquinas CNC
Demanda agregada do produto	Alavancagem de demanda	Alta capacidade e terceirização
Parada de máquina	Manutenção preventiva	Equipamentos redundantes
Características do material	Qualidade total	Monitoramento automático, percepção humana
Mudanças nas incertezas acima	Larga escala	Equipamento reconfigurável

Figura 9: Quadro de como lidar com a incerteza (Gerwin, 1993)

A partir de uma análise econômica pode-se caracterizar um sistema flexível pelos custos fixos relativamente elevados, que possibilitam custos variáveis relativamente baixos (GUSTAVSSON, 1984). Portanto, segundo o autor, a tendência das incertezas, com o aumento da flexibilidade, seria declinante; enquanto que o investimento necessário para alcançar esse nível de flexibilidade seria caracterizado por uma curva ascendente, onde um ponto de equilíbrio representa o ponto ótimo de flexibilidade que deve ser implementado. O autor explora, também, a capacidade produtiva do sistema flexível, de maneira a defender que este deve ser adequado para garantir que a eficiência aumente com o aumento da flexibilidade.

Segundo Kara & Kayis (2004) a flexibilidade de expansão ser alcançada com:

- Investimento em unidades de produção menores;
- Células de manufatura modulares; e
- Centros de usinagem e sistemas de manuseio de material multiuso (ao contrário de sistemas dedicados).

Seguindo o princípio de expansão e investimento em incrementos que propiciem a flexibilidade de manufatura nas organizações, Kara & Kayis (2004) defendem que quanto maior o grau de automação maior será a flexibilidade da organização, em comparação aquelas que utilizam sistemas com grande aplicação de recursos humanos, isto porque, para os autores, as variações de mão-de-obra podem prejudicar o processo produtivo através de absenteísmo e/ou má qualificação, o que requer investimentos no desenvolvimento e aperfeiçoamento dos operários. Porém essa afirmação é questionada por Suarez et al. (1996), que ao desenvolver um estudo na área de produção de placas de um circuito impresso, constatou que as fábricas mais automatizadas eram menos flexíveis se comparadas com as que utilizavam, predominantemente, recursos humanos.

A percepção de que os gestores identificam, na mão-de-obra, uma grande importância para o desempenho de flexibilidade de manufatura, foi defendida por Nordahl & Nilsson (1996); e Adler et al. (1999), propuseram investimentos na

capacidade da mão-de-obra ser flexível e eficiente, assim possibilitando que as empresas reduzam o impacto da implantação de flexibilidade, com medidas como:

- Novas tarefas;
- Capacitação do trabalho por através de tarefas não rotineiras;
- Alternância ou fracionamento da carga de trabalho entre as tarefas que exijam eficiência e tarefas que exigem flexibilidade; e
- Partição ou criação de subunidades multifuncionais, especializadas em tarefas rotineiras e não-rotineiras.

O desenvolvimento programas de resolução de problemas que envolvam os empregados, aliado ao estreitamento das relações com os fornecedores e a remuneração flexível pode contribuir, segundo Suarez et al. (1996), para o aumento da flexibilidade de mix, volume e novos produtos; de maneira a não envolver fatores tecnológicos.

O aumento da flexibilidade em manufatura, de acordo com Vokurka & O’Leary-Kelly (2000), não necessariamente irá aumentar o desempenho da empresa, pois a flexibilidade é interdependente do complemento de fatores ambientais, estratégicos, organizacionais e tecnológicos da empresa. Desta maneira, segundo Llorens et al. (2005), o superinvestimento em busca de flexibilidade pode acarretar uma queda, aparente, no desempenho das empresas.

A partir da exposição da flexibilidade e da forma com a qual é valorizada na organização, pode-se caracterizar os efeitos sobre o nível de flexibilidade escolhida e sua implementação, segundo De Treville et al. (2007), que defendem que a investimentos em flexibilidade devem ser explorados quando o valor esperado de seu melhor uso ultrapassar o custo. Os autores citam que o estudo de mercado e o planejamento empresarial são responsáveis por definir sua estratégia de atuação quanto à flexibilidade, isto pois, se desempenham esta prática ativamente, tenderão a buscar a redução das incertezas; mas se percepção não é tão efetiva, a tendência é explorar as incertezas, através de estratégias de estruturação.

Em contrapartida, as empresas que apresentam postura passiva quanto a incertezas de mercado, recorrerão a estratégias mais generalistas, limitando sua atuação, ou seja, o desempenho de pesquisa e análise do ambiente no qual a organização esta inserida, determina a estratégia adotada relativa à volatilidade do mercado. Para representação da possibilidade de análise da volatilidade do ambiente este trabalho baseia-se nos estudos de De Treville et al. (2007), que pode ser visto na Figura 10.

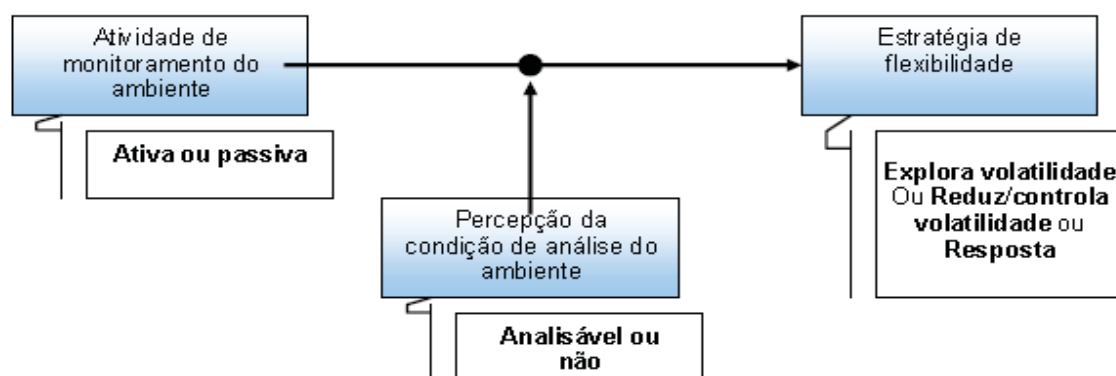


Figura 10: Relação de atividade de monitoramento e escolha da estratégia de flexibilidade (De Treville et al., 2007)

De Treville et al. (2007) também propôs um modelo para relacionar as estratégias de flexibilidade e os resultados obtidos, através da consistência do processo e investimentos na redução do tempo operacional, na cadeia de suprimento, como é apresentado na Figura 11.

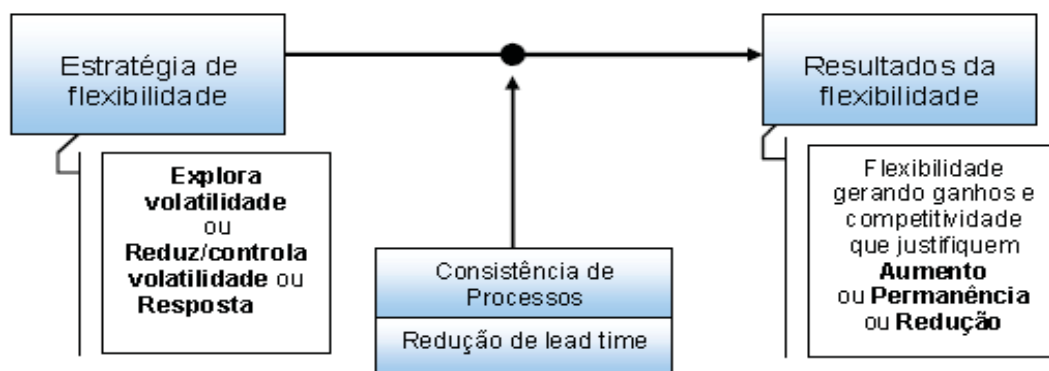


Figura 11: Relação entre estratégias de flexibilidade e resultados (De Treville et al., 2007)

A partir da discussão envolvendo estratégia e resultado, Correa (1994) cita a existência de uma lacuna na identificação de qual flexibilidade deve ser escolhida para as diferentes situações e os meios pelos quais pode ser introduzida.

Considerando que flexibilidade de manufatura esta vinculada ao desenvolvimento de competências organizacionais responsáveis pelo gerenciamento das opções estratégicas reativas ou proativas em relação as demandas, Llorens et al. (2005) defendem que o nível de flexibilidade de certas empresas esta ligado diretamente com as exigências do ambiente em que opera, desta forma, mesmo que seu processo seja pouco flexível, ela pode ter bom desempenho. O contrario, também, pode ocorrer através de uma empresa muito flexível, que apresente potencial de entrar em colapso, já que sua flexibilidade esta além das exigências do ambiente. Portanto, caracteriza-se por eficientemente flexível as organizações que adaptam as necessidades e incertezas do ambiente.

De acordo com De Treville et al. (2007), a carência de um processo consistente pode prejudicar a flexibilidade, mesmo se a proposta de flexibilidade for adequada as exigências do ambiente.

Os estudos de Llorens et al. (2005) defendem a interferência do ambiente no desenvolvimento da capacidade de aprendizagem das organizações, de maneira que o atual cenário competitivo interfere na capacidade de aprendizado e, conseqüentemente, na flexibilidade perante as exigências do ambiente, ou seja, para cenários pouco competitivos existem poucos incentivos para aprender e para mudar comportamentos estabelecidos, que é o caso contrário do atual cenário, no qual identifica-se a redução das lacunas quanto as necessidades ambientais e melhora do desempenho.

Scala et al. (2006) propõe um modelo conceitual para flexibilidade das organizações, ressaltando alguns fatores importantes que devem ser apresentados:

- Abordagem holística, voltada ao desempenho do sistema organizacional

- Compatibilidade de recursos humanos e não humanos, as organizações modernas são sistemas sócio-técnicas;
- Interação dinâmica entre os subsistemas;
- Aplicabilidade em diferentes circunstâncias; e
- Métodos para obtenção e/ou melhoria da flexibilidade.

2.6. Flexibilidade de manufatura e desempenho empresarial

Segundo Narasimhan et al. (2004), o bom desempenho das empresas está vinculado a sua capacidade de resposta as mudanças ocorridas no meio em que atuam, desta maneira o autor propõe alguns aspectos relacionados entre flexibilidade em manufatura e desempenho empresarial:

- Correlação positiva entre variedade de produtos e reduções nos custos de produção;
- Correlação positiva entre flexibilidade de produto e confiabilidade na entrega;
- Não haver influência negativa no mix e na flexibilidade de novos produtos sobre custos de manufatura e qualidade;
- Alta flexibilidade de mix e ciclos de desenvolvimento (design-tomanufacturing) mais curtos;
- Atuação em ambiente de rápidas mudanças e de que necessitem de flexibilidade.

Alguns autores desenvolveram modelos para apresentar o desempenho das organizações através de práticas de flexibilidade, como é o caso do modelo de Oke (2005), que defende o alcance de novas formas de flexibilidade pelas empresas, na atualidade, incluindo a flexibilidade de modificação (variedade de produto),

flexibilidade de volume (local de produção) e flexibilidade de modificação (rápida introdução de novos produtos), como é apresentado na Figura 12.

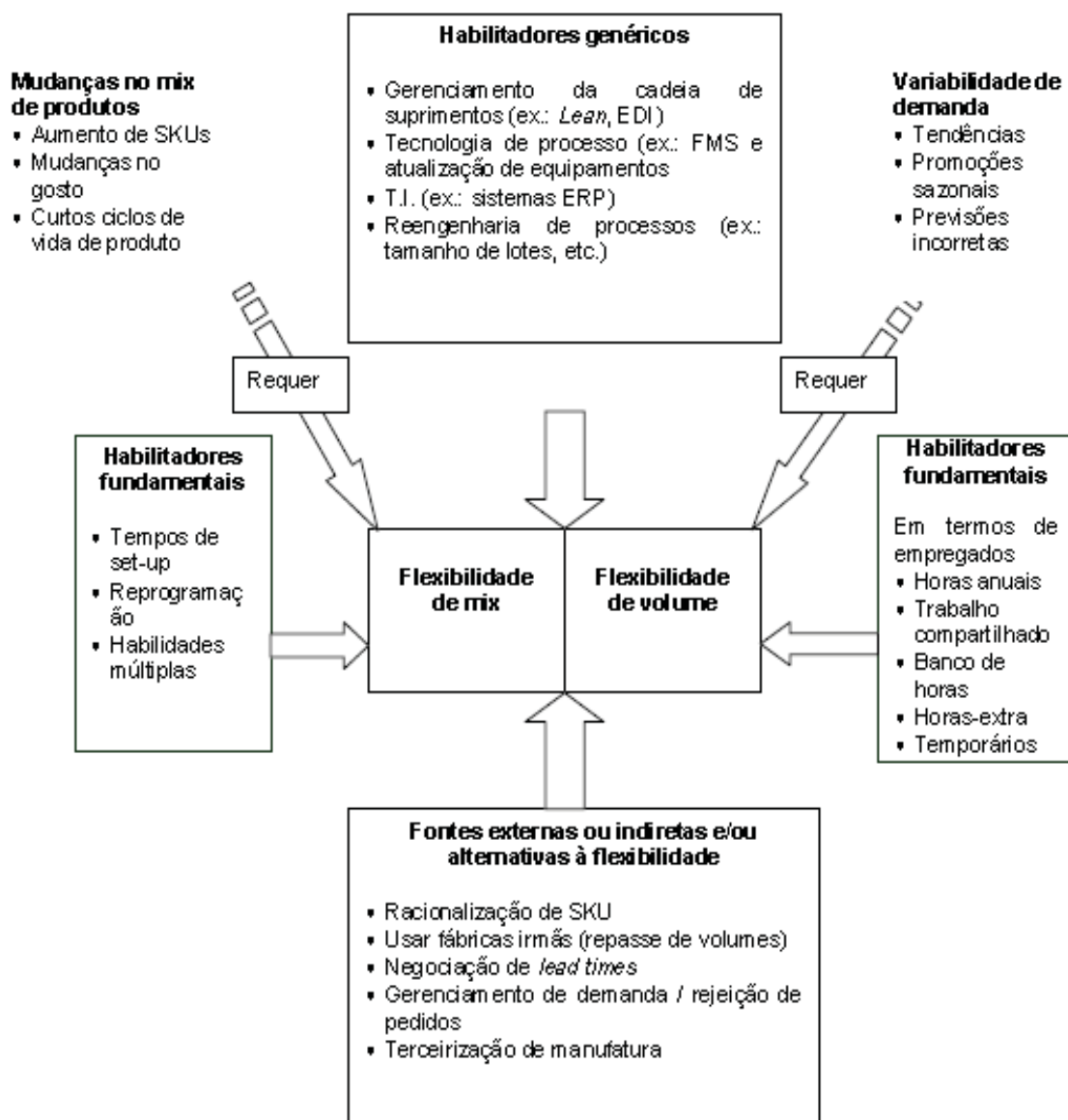


Figura 12: Modelo para flexibilidade do sistema (Oke, 2005)

Pode-se analisar que o desempenho empresarial está estritamente ligado a prática da flexibilidade, mesmo que esta não seja o único fator a interferir no desenvolvimento e comprimento das atividades relacionadas ao ambiente organizacional.

2.7. Implementação da flexibilidade em manufatura e seus indicadores

A implementação da flexibilidade em manufatura, segundo Boyle (2006), é complexa e está atrelada a sua natureza multidimensional e a carência de um sistema de medidas eficiente que possa ser amplamente aplicado.

Dessa maneira a flexibilidade não apresenta características coletivas que podem ser simplesmente aplicadas de maneira genérica, portanto sua implementação deve ser cuidadosamente analisada, planejada e gerida, para garantir que as exigências do ambiente sejam atendidas, assim gerando os resultados esperados; conceito esse defendido por Beach et al. (2000).

Seis fatores potenciais que afetam a implementação da flexibilidade foram levantados por Suarez, Cusumano & Fine (1996), e são:

- Tecnologia da produção;
- Técnicas de gerenciamento da produção;
- Relacionamento com parceiros (subcontratados, fornecedores e distribuidores);
- Treinamento e habilidades da força de trabalho, segurança no emprego e políticas de compensação;
- Projeto do produto; e
- Contabilidade e sistema de informações.

Desta maneira Slack (1987) recomenda três etapas básicas para atingir flexibilidade em manufatura:

- I. Identificar requisitos de flexibilidade, através de análise da estratégia competitiva da organização;
- II. Realizar auditoria de flexibilidade, determinando a capacidade de produção do sistema, ou seja, identificando o tempo para fazer as mudanças exigidas; e

III. Desenvolver programa de ação para que as capacidades atuais atendam a flexibilidade necessária.

Após as proposições de Slack (1987), Boyle (2006), foi responsável por analisar vários modelos sugeridos para a implementação de flexibilidade em manufatura, avaliando modelos propostos pelo próprio Slack (1987), Olhager e West (2002), Narain et al. (2000), Nilsson & Nordahl (1995) e Gerwin (1993), e a partir da coleta de informações destes estudos, gerou uma lista de melhores práticas para a implementação da flexibilidade:

- Considerar o desenho da organização, capacidades técnicas, incertezas competição, manufatura e estratégias de mercado para selecionar tipos e ferramentas da flexibilidade;
- Compreender a flexibilidade como meio para lidar com incertezas, considerando-a parte da estratégia de manufatura para alcançar os resultados esperados;
- Identificar possibilidades de alcançar flexibilidade por meios não-técnicos;
- Determinar as capacidades de produção e reduzir lacunas entre tipos e níveis de flexibilidade;
- Identificar tipos de flexibilidade em termos da sua gama, mobilidade e uniformidade, compreendendo os diferentes níveis que pode ocorrer (estratégico, tático e operacional);
- Priorizar os tipos de flexibilidade de manufatura necessários, devido a possível escassez de recursos para implementar flexibilidade em todos níveis de gama, uniformidade e mobilidade;
- Focar no alinhamento dos tipos e níveis de flexibilidade exigida e compreender que as estratégias para abordar a incerteza;
- Garantir a manutenção da flexibilidade necessária, através de medidas e avaliações periódicas, relacionadas às mudanças das estratégias e alterações das incertezas.

Boyle (2006) propõe um modelo, apresentado na Figura 13, que prevê a identificação da flexibilidade necessária, como um processo oriundo do ambiente externo, dos insumos, dos processos de manufatura ou dos produtos finais. Neste estágio, é relevante a avaliação da estratégia competitiva da organização, pois elas podem ser variadas e partir desde o desenvolvimento de medidas de redução de uma incerteza, até reações e adaptações às incerteza, por meio de controle de qualidade que diminuam as incertezas na produção de novos produtos ou peças.

Como etapas subseqüentes, a seleção, justificativa e priorização da flexibilidade necessária devem utilizar um processo de reconciliação, no qual a flexibilidade requerida e os tipos propostos de flexibilidade de componentes e sistema são analisados para:

- Evitar a escolha de tipos de flexibilidade de componente e sistema que não atinjam a flexibilidade requerida;
- Garantir que nenhum tipo de flexibilidade de componente e sistema tenha sido ignorado;
- Garantir que a redução da incerteza é considerada concomitante a flexibilidade; e
- Priorizar tipos de flexibilidade agregada e os tipos de flexibilidade de componente e sistema que correspondam a flexibilidade agregada.

A partir deste processo de reconciliação, de acordo com Boyle (2006), os possíveis motivos da não correspondência entre a flexibilidade real e requerida incluem:

- Seleção de ferramentas inapropriadas (tecnológicas e organizacionais);
- Problemas de implementação, operação e uso das ferramentas requeridas;
- Obstáculos gerenciais a mudança (comportamento resistente, comunicação ineficiente, falta de apoio gerencial, etc).

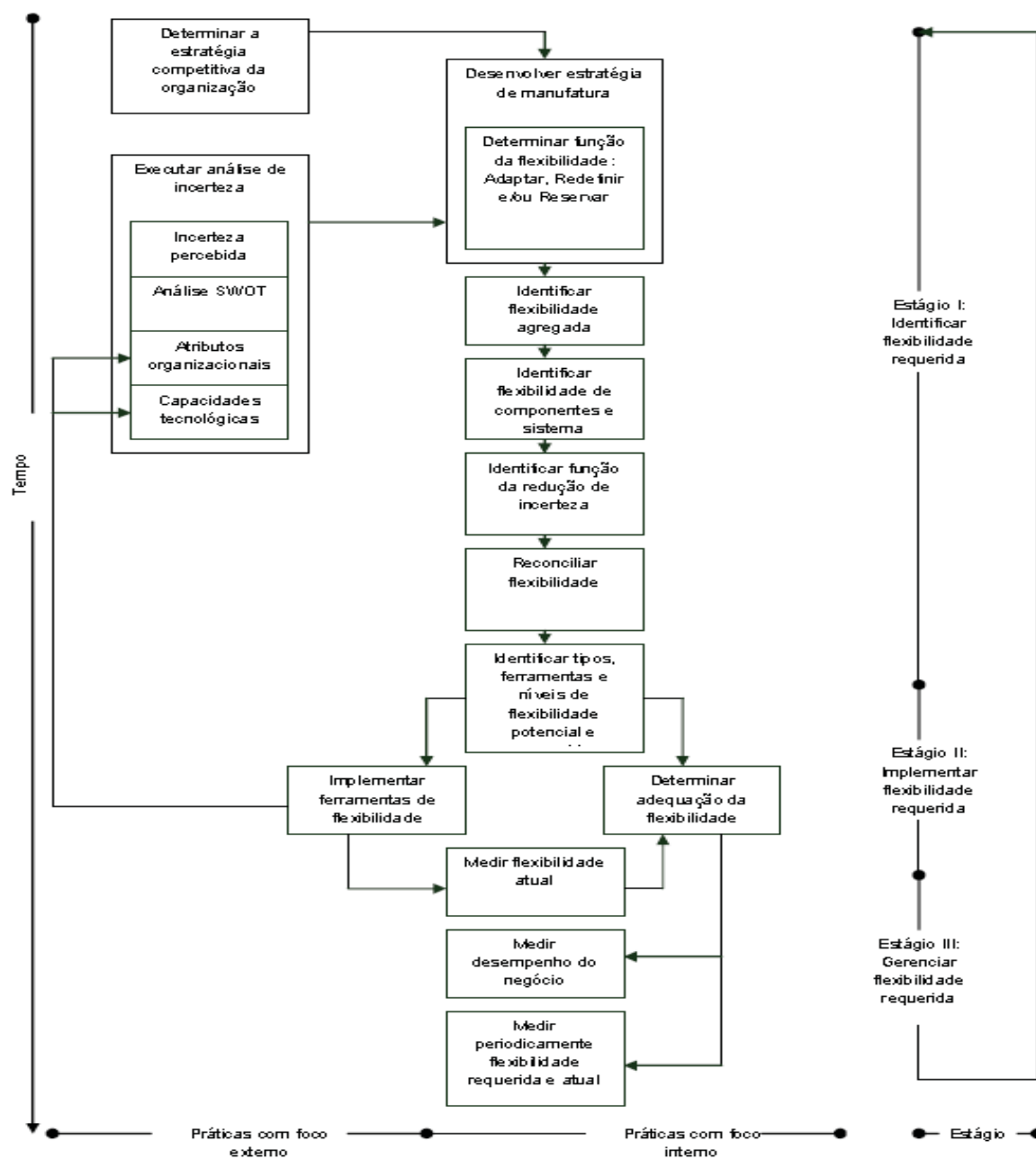


Figura 13: Modelo para implementação de flexibilidade em manufatura (Boyle, 2006)

Narain et al. (2000) desenvolveu um modelo com forte semelhança ao de Boyle (2006), como pode ser observado na Figura 14.

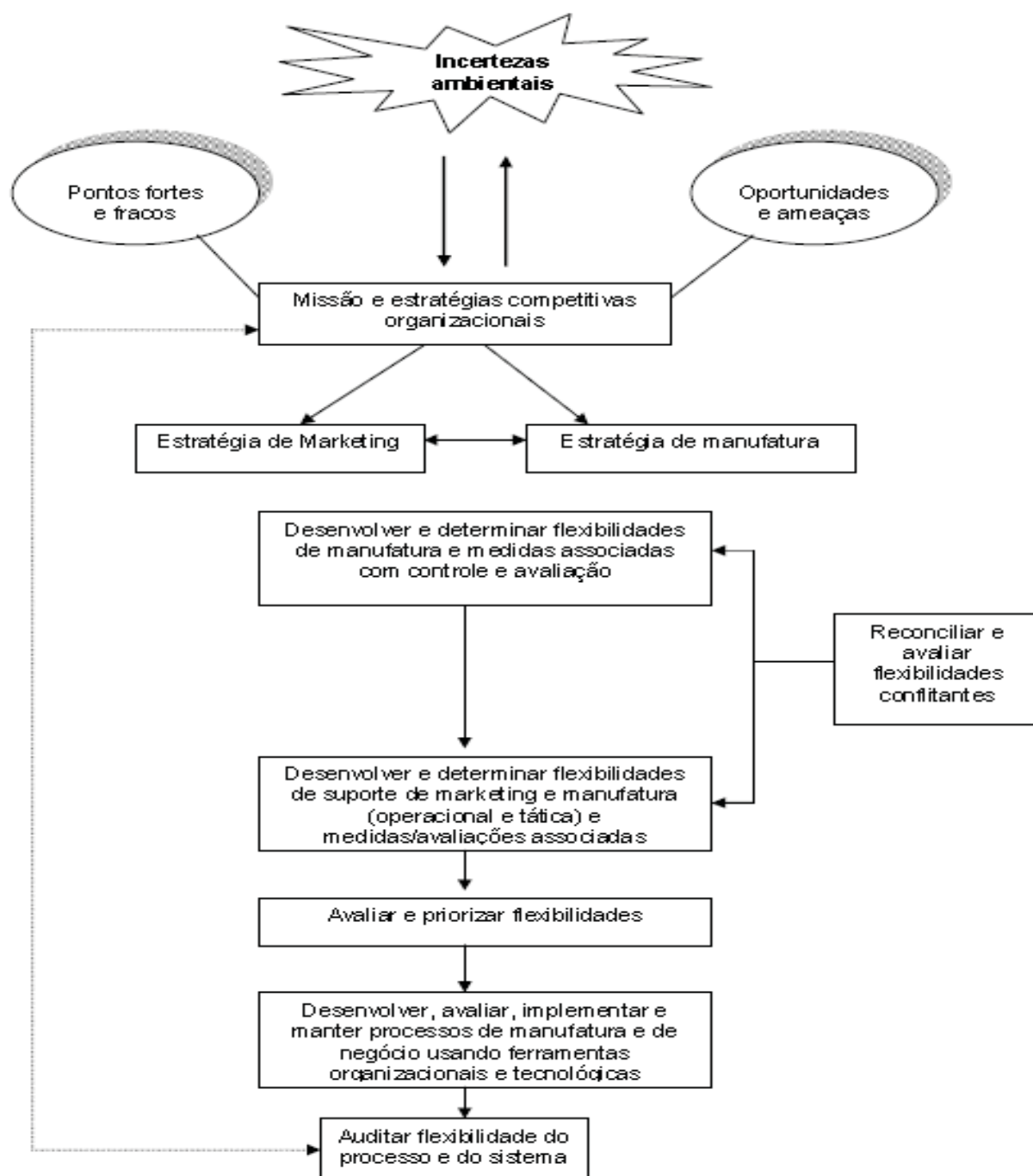


Figura 14: Modelo para integração da flexibilidade (Narain et al., 2000)

Outras abordagens foram desenvolvidas para a implementação da flexibilidade de manufatura, como é o caso de Wahab et al. (2008) que desenvolveram um modelo de medições para o gerenciamento da Flexibilidade, porém limitado a máquinas. Desta maneira, este trabalho se restringe apenas a apresentar o conteúdo genérico e focar-se nos aspectos estratégicos da flexibilidade.

3. PESQUISA EMPÍRICA

3.1. Informações sobre a empresa pesquisada

Baseado no trabalho de Richardson (1999) determina-se essencial a existência de uma pré-disposição favorável da empresa pesquisada ao trabalho do pesquisador e que a amostra favoreça essa abertura, de maneira a permitir o acesso a informações e documentos importantes da empresa, o que nos remete, por questões de sigilo, a nomear a empresa como INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA DO VALE DO PARAÍBA.

Adianta-se que é uma empresa multinacional de grande porte, instalada no Vale do Paraíba, com aproximadamente 9 mil funcionários diretos e indiretos. Ela possui um potencial produtivo aproximado de 160.000 carros por ano, e é responsável por fabricar 5 modelos diferentes da marca em uma mesma linha de produção.

O processo produtivo relacionado à montagem final de veículos é quase que completamente realizado por mão-de-obra qualificada, contando apenas com 2 robôs responsáveis pelo processo de cola do vidro. O que submete a uma dependência dos processos e operações por mão-de-obra capacitada e balanceada, através de princípios de Organização da Produção.

Desta maneira analisou-se as operações de submontagem identificadas na área denominada como General Assembly, ou montagem geral, tomando como fatores potenciais a mão-de-obra, o processo, produto, volume e o MIX produtivo.

3.2. Instrumento de coleta de dados

Segundo Richardson (1999), todo o trabalho de planejamento e execução das etapas do processo de pesquisa se consolida no instrumento de coleta de dados. Neste caso baseou-se principalmente no Estudo de Tempos e Métodos, destacados por Taylor (1912) e Gilbreth (1885).

Basicamente a cronoanálise é uma ferramenta da qualidade que busca o detalhamento das atividades, permitindo evidenciar pontos passíveis de melhoria. A proposta de Taylor ao desenvolver o Método da Cronoanálise era usar a cronometragem como ferramenta para apurar o tempo real de operação, assim permitindo uma indicação do tempo previsto, ou seja, com o tempo medido, pode-se avaliar o ritmo do operador, o número de medições exigidas estatisticamente e o grau de confiabilidade, para se obter um tempo puro.

Com tempo puro e o estudo das operações, proposto por Gilbreth (1885) pode-se identificar o método mais rápido e eficiente para a execução das operações necessárias, permitindo a redução dos custos de manufatura de um produto e possibilitando melhor balanceamento de carga das atividades.

Levando em consideração o trabalho dos autores, desenvolveu-se um método básico para coleta de dados, baseado na tomada de tempo através de um cronometro digital e um operador treinado. O princípio é simples, ao identificar as atividades que apresentem características de submontagem, o operador deve descrevê-la, a ponto de anexar dados como: local onde ocorre, qual(is) modelo(s) a operação contempla, tempo de operação, quantidade de mão-de-obra que realiza a operação e condição ergonômica, assim como é exemplificado na Tabela 1.

Tabela 1: Modelo para coleta de dados

OPERAÇÃO	IDENTIFICAÇÃO DE LOCAL	MODELO	TEMPO DE OPERAÇÃO [s]	NÚMERO DE OPERADORES	CONDIÇÃO ERGONÔMICA
Montagem do condensador	Área 500	CL	46	1	OK
Montagem da coluna de direção	Cockpit	CO, ME, ZA	34	1	OK
Montagem do mecanismo de direção	Área 500	CL	119	1	ok

O procedimento para preencher a Tabela 1, aparentemente não representa dificuldade para o operador, porém os dados coletados são de suma importância para as análises realizadas através da modelagem, o que implica em um procedimento específico para coleta do Tempo de Operação, já que este representa, juntamente com o MIX, uma das variáveis de decisão do Modelo.

O processo de tomada de tempo das operações é simples ocorre em 3 etapas: a primeira é referente a observação da atividade (leva-se em conta troca de operadores, tempo ocioso, identificação de opcionais, etc), a segunda etapa caracteriza a tomada de tempo, onde serão realizadas cinco medições (considerando todos modelos envolvidos), e a terceira é responsável pelas ponderações do processo, onde realizamos uma média ponderada dos tempos de operação. A representação do método pode ser analisada na Figura 15.

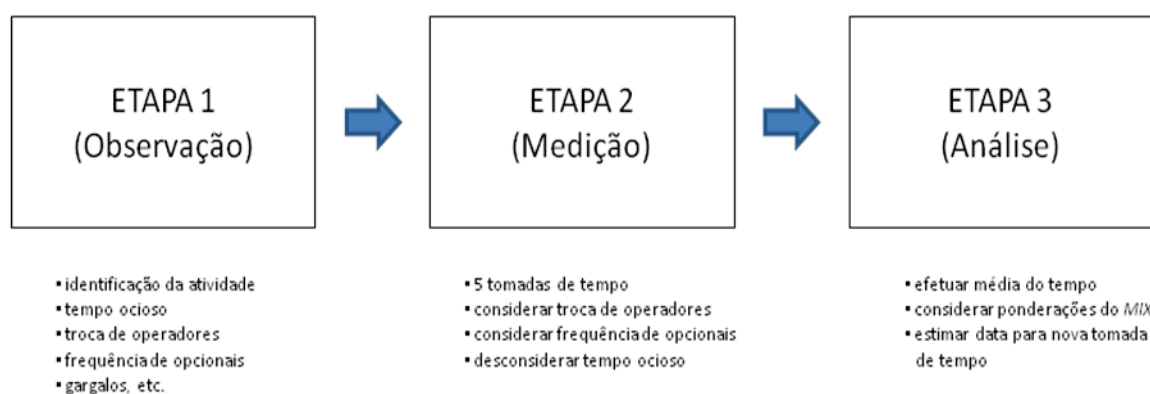


Figura 15: Método de tomada de tempo desenvolvido

Com os dados obtidos, deve-se levar em conta a necessidade de revisão periódica, visto que o ambiente fabril é bastante dinâmico e implica em alterações constantes no processo.

Outra variável analisada, como já foi citada anteriormente, é o MIX de produção, responsável por indicar a quantidade de trabalho por hora, ou a porcentagem de modelos que devem ser produzidos diariamente, estes dados são gerados pelo sistema de controle de produção e podem ser avaliados diariamente, através do software utilizado pela empresa.

3.3. Modelagem

Embasado na teoria abordada neste trabalho e fazendo comparativo com a prática encontrada na indústria automotiva analisada, percebe-se algumas características relevantes para comprovar a necessidade de flexibilidade de manufatura, como é o caso de:

- Demanda variável (dependência do mercado);
- Diversidade de produtos (cinco produtos diferentes podem ser produzidos na mesma linha);
- Curtos tempos de entrega (quanto maior a demanda, menor é o tempo de produção por produto); e
- Mão-de-obra dependente do volume produzido (permite oscilações entre mão-de-obra ociosa e sobrecarregada).

A partir dos dados coletados foi possível identificar juntamente com a Tabela 3, as dimensões de flexibilidade com potencial de aplicação ao modelo desejado, e dentre elas se destacaram: máquina, mão-de-obra e controle, as quais foram consideradas, com exceção de máquinas que desempenha pouca influência, no processo de modelagem.

Desta maneira desenvolveu-se um método para modelagem da flexibilização de manufatura proposta nesse trabalho, que segue os seguintes passos demonstrados da Figura 16.

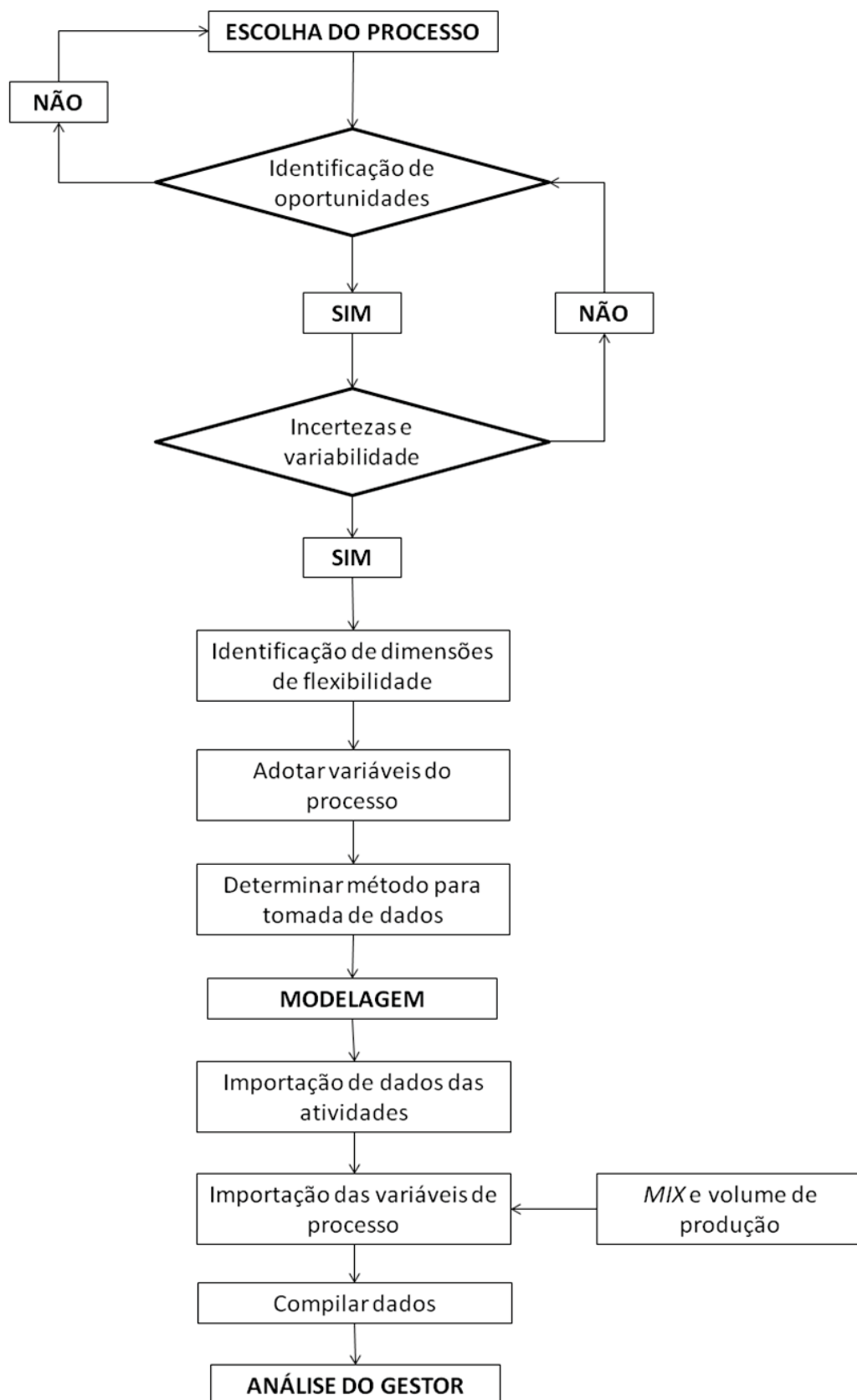


Figura 16: Método de desenvolvimento de modelo criado

O modelo desenvolvido é totalmente programado no MS EXCEL ® e é apresentado na forma de planilha, em que todos os dados coletados, inerentes as atividades e ao MIX, são compilados e geram valores de Carga de Trabalho através da expressão (1) , capazes de apresentar a saturação do processo de duas maneiras distintas: uma realizada diretamente na linha de montagem e outra relacionada às atividades realizadas em bancada (fora da linha), respectivamente identificadas na Expressão (1) e (2).

$$\text{Carga de trabalho} = \frac{t * \text{fração no MIX} * 16,14}{1,07 \text{ TT} * 15,25} \quad (1)$$

$$\text{Carga de trabalho} = \frac{t * \text{JPH}}{3600} \quad (2)$$

As variáveis, presentes nas duas fórmulas, representam: o tempo de operação (t), o takt time (TT), a quantidade de produto por hora (JPH) e a porcentagem do modelo no MIX diário. Essas diferenças das variáveis nas fórmulas ocorrem, pois o controle de produção é distinto de acordo com a forma que é realizada a atividade, ou seja, para as atividades executadas em bancada, se considera a hora de trabalho realizado, já para as atividades realizadas na linha, se considera o takt time da estação de trabalho.

Desta maneira, para efetuar a modelagem da planilha de controle estratégico de flexibilidade e compilar os valores de Carga de trabalho, primeiramente importar-se todos os dados referentes a atividade, citados na sessão 3.2, e apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Dados das atividades

ITEM	OPERAÇÕES	CLASSIFICAÇÃO	ÁREA DE MONTAGEM	MODELO	TEMPO (Segundos)	TEMPO C/ 72
1	Condensador	OFICIAL	ÁREA 500	CL	46	43
2	Conjunto de Pedais (Módulo 1)	OFICIAL	ÁREA 500	CO	132	141
3	Conjunto de Pedais (Módulo 2)	OFICIAL	ÁREA 500	CO	143	153
4	Conjunto de Pedais	OFICIAL	ÁREA 500	ME	252	270
5	Coxim	OFICIAL	ÁREA 500	ZA	22	24
6	Aplicação	OFICIAL	ÁREA 500	CL	182	195
7	SPS	OFICIAL	ÁREA 500	ME	132	141
8	Valvula Purga	OFICIAL	ÁREA 500	CL	43	46
9	Atuador da portinhola	OFICIAL	ÁREA 500	CO/ME	12	13
10	Módulo ECM	OFICIAL	ÁREA 500	CL	45	48
11	Amortecedor	OFICIAL	ÁREA 500	CL	26	28
12	Amortecedor	OFICIAL	ÁREA 500	CO	10	11
13	Viga Pára-choque	OFICIAL	ÁREA 500	CL	36	39
14	Barra Estabilizadora	OFICIAL	ÁREA 500	CL	25	27
15	Ventoinha Radiador	OFICIAL	ÁREA 500	CL	33	35
16	Radiador	OFICIAL	ÁREA 500	CL	96	103
17	Porta Mapa Vidro Elétrico (para 1)	OFICIAL	ÁREA 500	CL	57	61
18	Mecanismo	OFICIAL	ÁREA 500/AQUÁRIO	CL	111	119
19	Coluna de Direção	OFICIAL	ÁREA 500	ME/CO/ZA	32	34
20	Conjunto de Pedais	OFICIAL	ÁREA 500	CL	164	175
21	Conjunto de Pedais	OFICIAL	ÁREA 500	ZA	270	289
22	Porta Pacotes-Tela Alto Falante	OFICIAL	ÁREA 500	CL	40	43
23	Coluna C	OFICIAL	ÁREA 500	CO HATCH	36	39
24	Retentor para-choque	OFICIAL	ÁREA 500	ME/CO/ZA	3	3
25	Volante	OFICIAL	ÁREA 500/COCKPIT	CL	88	94
26	Chicote Cockpit	OFICIAL	ÁREA 500/COCKPIT	ZA	105	112
27	Amarrar C60	OFICIAL	ÁREA 500	CL	20	21
28	Coifa do Radiador	OFICIAL	ÁREA 500/AQUÁRIO	ME	30	32
29	UD8	OFICIAL	ÁREA 500/COCKPIT	CL/CO/ZA/ME	30	32
30	Painel de Serviço	OFICIAL	ÁREA 500	ZA	52	56
31	Tampa de Ferramenta	OFICIAL	ÁREA 500	ZA	65	70
32	Tubo C60	OFICIAL	ÁREA 500	CL	50	54
33	Reservatório N40	OFICIAL	ÁREA 500	CL	52	56

Após os dados das atividades serem importados, deve-se analisar os dados do processo, incluindo: o MIX, a demanda, o Takt time e os opcionais do processo, que por motivos estratégicos são compilados de maneira a conflitar os dados diários do processo e os dados de planejamento, demonstrados na Tabela 3.

Tabela 3: Dados do processo

MIX (NFC)			VARIAÇÕES DO CLASSIC				Fragão
MODELO	%	un	CLARG.				
CO SP	5,9	2	7,3	2	0,34		
CO 4P	42,6	12	14,2	4	0,66		
ME	22,3	6	CLDRA. CSE	12	3	0,87	
ZA	7,7	2	CLDRA. ASI	3	1	0,16	
CL	21,5	6	DIREÇÃO MID. H 48	20	5	0,91	
		27					
MIX (NwR)							
MODELO	%	un					
CO SP	5,9	2					
CO 4P	42,6	12					
ME	22,3	6					
ZA	7,7	2					
CL	21,5	6					
		29					
TT [s]		126	overspeed				
ATT [s]		117					
NFC [JPH]		27					
NwR		29					
Dados do Planejamento do MYA - Corsa							
MIX (NFC)			VARIAÇÕES DO CLASSIC				Fragão
MODELO	%	un	CLARG.				
CO SP	55	25	15	7	0,34		
CO 4P	0	0	30	14	0,66		
ME	0	0	CLDRA. CSE	26	12	0,87	
ZA	0	0	CLDRA. ASI	7	3	0,16	
CL	45	21	DIREÇÃO MID. H 48	41	19	0,91	
		46					
MIX (NwR)							
MODELO	%	un					
CO SP	55	27					
CO 4P	0	0					
ME	0	0					
ZA	0	0					
CL	45	22					
		49					
TT [s]		74	overspeed				
ATT [s]		69					
NFC [JPH]		46					
NwR		49					

Tal abordagem permite que os dados de cada atividade e os dados do processo sejam compilados e gerem resultados necessários para a análise robusta das submontagens, baseados na carga de trabalho e mão-de-obra disponível, como pode ser visto na Tabela 4.

Tabela 4: Tabela de dados da Carga de Trabalho atual x prevista

ITEM	OPERAÇÕES	CLASSIFICAÇÃO	ÁREA DE MONTAGEM	MODELO	TEMPO (Segundos)	TEMPO C/ 7%	ATUAL		PREVISTO	
							JPH	MO	JPH	MO
1	Condensador	OFICIAL	ÁREA 500	CL	46	43	2	0,03	7	0,10
2	Conjunto de Pedais (bancada 1)	OFICIAL	ÁREA 500	CO	132	141	14	0,54	27	1,05
3	Conjunto de Pedais (bancada 2)	OFICIAL	ÁREA 500	CO	143	153	14	0,59	27	1,14
4	Conjunto de Pedais	OFICIAL	ÁREA 500	ME	252	270	6	0,48	0	
5	Coxim	OFICIAL	ÁREA 500	ZA	22	24	2	0,03	0	
6	Aplicar	OFICIAL	ÁREA 500	CL	182	195	6	0,33	22	1,19
7	SPS	OFICIAL	ÁREA 500	ME	132	141	6	0,25	0	
8	Valvula Purga	OFICIAL	ÁREA 500	CL	43	46	6	0,08	22	0,28
9	Atuador da portinhola	OFICIAL	ÁREA 500	CO/ME	12	13	20	0,07	27	0,10
10	Módulo ECM	OFICIAL	ÁREA 500	CL	45	48	6	0,08	22	0,29
11	Amortecedor	OFICIAL	ÁREA 500	CL	26	28	6	0,05	22	0,17
12	Amortecedor	OFICIAL	ÁREA 500	CO	10	11	14	0,04	27	0,08
13	Viga Pára-choque	OFICIAL	ÁREA 500	CL	36	39	6	0,07	22	0,23
14	Barra Estabilizadora	OFICIAL	ÁREA 500	CL	25	27	6	0,05	22	0,16
15	Ventoinha Radiador	OFICIAL	ÁREA 500	CL	33	35	2	0,02	7	0,07
16	Radiador	OFICIAL	ÁREA 500	CL	96	103	6	0,18	22	0,63
17	Porta Mapa Vidro Elétrico (P.M.)	OFICIAL	ÁREA 500	CL	57	61	1	0,02	4	0,06
18	Mecanismo	OFICIAL	ÁREA 500/AQUÁRIC	CL	111	119	6	0,20	22	0,72
19	Coluna de Direção	OFICIAL	ÁREA 500	HE/CO/ZA	32	34	22	0,21	27	0,25
20	Conjunto de Pedais	OFICIAL	ÁREA 500	CL	164	175	6	0,30	22	1,07
21	Conjunto de Pedais	OFICIAL	ÁREA 500	ZA	270	289	2	0,18	0	
22	Porta Pacotes-Tela Alto Falante	OFICIAL	ÁREA 500	CL	40	43	6	0,07	22	0,26
23	Coluna C	OFICIAL	ÁREA 500	CO HATCH	36	39	12	0,13	0	
24	Retentor para-choque	OFICIAL	ÁREA 500	HE/CO/ZA	3	3	22	0,02	27	0,02
25	Volante	OFICIAL	ÁREA 500/COCKPIT	CL	88	94	6	0,16	22	0,57
26	Chicote Cockpit	OFICIAL	ÁREA 500/COCKPIT	ZA	105	112	2	0,07	0	
27	Amarrar C60	OFICIAL	ÁREA 500	CL	20	21	4	0,02	13	0,07
28	Coifa do Radiador	OFICIAL	ÁREA 500/AQUÁRIC	ME	30	32	6	0,06	0	
29	UDS	OFICIAL	ÁREA 500/COCKPIT	CL/CO/ZA/ME	30	32	21	0,18	0	
30	Painel de Serviço	OFICIAL	ÁREA 500	ZA	52	56	2	0,03	0	
31	Tampa de Ferramenta	OFICIAL	ÁREA 500	ZA	65	70	2	0,04	0	
32	Tubo C60	OFICIAL	ÁREA 500	CL	50	54	4	0,05	13	0,19
33	Reservatório N40	OFICIAL	ÁREA 500	CL	52	56	6	0,09	20	0,31
							M.O. Nec	5	M.O. Nec	3
							Autorizado	7	Autorizado	14
							Saturação	65%	Saturação	65%

A partir desses dados permite-se aos gestores traçar estratégias para formulação de postos que otimizam a saturação da carga de trabalho de cada operador, ou seja, que atrelam a eles uma ou mais das atividades listadas, com o intuito de evitar ociosidade ou sobrecarga da mão-de-obra. Os cálculos inerentes a essa etapa não são contemplados no modelo, sendo ele apenas uma ferramenta para a formulação da proposta empírica dos postos de trabalho, visto que estes têm que considerar fatores ergonômicos e humanos que a planilha é incapaz de ponderar.

Um exemplo básico de formulação de posto de trabalho baseado nos valores compilados pelo modelo pode ser representado pela Tabela 5, e deve considerar fatores como: layout, restrições da mão-de-obra, carga máxima atribuída e condições ergonômicas das bancadas.

Tabela 5: Posto de trabalho considerando dados do modelo

POSTO I	COMPONENTES	MODELO	TEMPOS	TEMPO C/7%	MÃO-DE-OBRA	MÃO-DE-OBRA LIBERADA	SATURAÇÃO
	CONJUNTO DE PEDAIS	CO	132	141	0,40		
	CONJUNTO DE PEDAIS	CO	143	153	0,40		
	CONJUNTO DE PEDAIS	ME	252	270	0,44		
	CONIM	ZA	22	24	0,03		
	CONDENSADOR	CL	46	49	0,03		
	TOTAL		595	637	1,28	2	64%
POSTO II	COMPONENTES	MODELO	TEMPOS	TEMPO C/7%	MÃO-DE-OBRA	MÃO-DE-OBRA LIBERADA	SATURAÇÃO
	APLIQUE	CL	182	195	0,33		
	CONJUNTO DE PEDAIS	CL	164	175	0,30		
	CONJUNTO DE PEDAIS	ZA	270	289	0,18		
	TOTAL		616	659	0,81	1	81%

Desta maneira o gestor pode criar um posto de trabalho a partir das atividades levantadas, e através do cálculo da mão-de-obra, decidir quantos funcionários liberará por posto ou se o mesmo deve sofrer modificações para adequar melhor os valores de saturação.

3.4. Análise dos resultados

A partir do modelo estabelecido para análise da saturação da carga de trabalho atrelada a mão-de-obra, destaca-se três oportunidades distintas de lidar com a flexibilidade de manufatura. A primeira é referente às atividades que são realizadas por mão-de-obra especializada, paralelamente a linha de montagem (em bancadas ergonomicamente projetadas) e que representa a proposta mais simples de conviver com as variações e incertezas do ambiente, pois sua resposta é ágil e envolve apenas a reformulação estratégica dos postos de trabalho e da mão-de-obra vinculada. Seguindo os dados de processo destacados na Tabela 3, pode-se demonstrar alterações nos postos de trabalho, a partir da análise de saturação da carga de trabalho gerada pelo modelo, como apresentado para dados atuais na Figura 17 e para dados de planejamento na Figura 18.

Aparentemente, segundo a Figura 17, a mão-de-obra necessária para efetuar as atividades de cada posto de trabalho está de acordo com padrões exigidos de saturação, podendo até mesmo ter um acréscimo de carga. Porém para o processo planejado na Figura 18, se aplicada uma proposta semelhante ao do processo atual, os postos de trabalho deverão apresentar sobrecarga, tal fato pode ser resolvido de duas maneiras: através do acréscimo ou remanejamento de duas mãos-de-obra do processo (Figura 19), ou de reformulação dos postos de trabalho (Figura 20).

SIMULAÇÃO PARA DOIS POSTOS CONSIDERANDO DADOS ATUAIS								
	A	B	C	D	E	F	G	H
1								
2								
3	POSTO I	COMPONENTES	MODELO	TEMPOS	TEMPO C/7%	MÃO-DE-OBRA	MÃO-DE-OBRA LIBERADA	SATURAÇÃO
4		CONJUNTO DE PEDAIS	CO	132	141	0,54		
5		CONJUNTO DE PEDAIS	CO	143	153	0,59		
6		CONJUNTO DE PEDAIS	ME	252	270	0,44		
7		COXIM	ZA	22	24	0,03		
8		CONDENSADOR	CL	46	49	0,03		
9		TOTAL		595	637	1,63	2	81%
10								
11	POSTO II	COMPONENTES	MODELO	TEMPOS	TEMPO C/7%	MÃO-DE-OBRA	MÃO-DE-OBRA LIBERADA	SATURAÇÃO
12		APLIQUE	CL	182	195	0,33		
13		CONJUNTO DE PEDAIS	CL	164	175	0,30		
14		CONJUNTO DE PEDAIS	ZA	270	289	0,18		
15								
16		TOTAL		616	659	0,81	1	81%
17								
18		COMPONENTES	MODELO	TEMPOS	TEMPO C/7%	MÃO-DE-OBRA		
19		ATUADOR PORTINHOLA	JA	12	13	0,07		

Figura 17: Simulação a partir de dados atuais

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	SIMULAÇÃO PARA DOIS POSTOS CONSIDERANDO DADOS DE PLANEJAMENTO								
2									
3	POSTO I	COMPONENTES	MODELO	TEMPOS	TEMPO C/7%	MÃO-DE-OBRA	MÃO-DE-OBRA LIBERADA	SATURAÇÃO	OK
4		CONJUNTO DE PEDAIS	CO	132	141	1,05			
5		CONJUNTO DE PEDAIS	CO	143	153	1,14			
6		CONJUNTO DE PEDAIS	ME	252	270	0,00			
7		COXIM	ZA	22	24	0,00			
8		CONDENSADOR	CL	46	49	0,10			
9		TOTAL		595	637	2,29	2	115%	
10									
11	POSTO II	COMPONENTES	MODELO	TEMPOS	TEMPO C/7%	MÃO-DE-OBRA	MÃO-DE-OBRA LIBERADA	SATURAÇÃO	
12		APLIQUE	CL	182	195	1,19			
13		CONJUNTO DE PEDAIS	CL	164	175	0,30			
14		CONJUNTO DE PEDAIS	ZA	270	289	0,18			
15									
16		TOTAL		616	659	1,67	1	167%	
17									
18		COMPONENTES	MODELO	TEMPOS	TEMPO C/7%	MÃO-DE-OBRA			STATUS
19		ATUADOR PORTINHOLA	JA	12	13	0,10			

Figura 18: Simulação a partir de dados planejados, sem alteração

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	SIMULAÇÃO PARA DOIS POSTOS CONSIDERANDO DADOS DE PLANEJAMENTO								
2									
3	POSTO I	COMPONENTES	MODELO	TEMPOS	TEMPO C/7%	MÃO-DE-OBRA	MÃO-DE-OBRA LIBERADA	SATURAÇÃO	OK
4		CONJUNTO DE PEDAIS	CO	132	141	1,05			
5		CONJUNTO DE PEDAIS	CO	143	153	1,14			
6		CONJUNTO DE PEDAIS	ME	252	270	0,00			
7		COXIM	ZA	22	24	0,00			
8		CONDENSADOR	CL	46	49	0,10			
9		TOTAL		595	637	2,29	3	76%	
10									
11	POSTO II	COMPONENTES	MODELO	TEMPOS	TEMPO C/7%	MÃO-DE-OBRA	MÃO-DE-OBRA LIBERADA	SATURAÇÃO	
12		APLIQUE	CL	182	195	1,19			
13		CONJUNTO DE PEDAIS	CL	164	175	0,30			
14		CONJUNTO DE PEDAIS	ZA	270	289	0,18			
15									
16		TOTAL		616	659	1,67	2	83%	
17									
18		COMPONENTES	MODELO	TEMPOS	TEMPO C/7%	MÃO-DE-OBRA			STATUS
19		ATUADOR PORTINHOLA	JA	12	13	0,10			

Figura 19: Simulação a partir de dados planejados, com adição de mão-de-obra

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	SIMULAÇÃO PARA DOIS POSTOS CONSIDERANDO DADOS DE PLANEJAMENTO								
2									
3	POSTO I	COMPONENTES	MODELO	TEMPOS	TEMPO C/7%	MÃO-DE-OBRA	MÃO-DE-OBRA LIBERADA	SATURAÇÃO	OK
4		CONJUNTO DE PEDAIS	CO	132	141	1,05			
5		CONJUNTO DE PEDAIS	CO	143	153	1,14			
6		VALVULA PURGA	CL	43	46	0,28			
7		PORTA MAPAS	CL	57	61	0,06			
8		CONDENSADOR	CL	46	49	0,10			
9		TOTAL		421	450	2,63	3	88%	
10									
11	POSTO II	COMPONENTES	MODELO	TEMPOS	TEMPO C/7%	MÃO-DE-OBRA	MÃO-DE-OBRA LIBERADA	SATURAÇÃO	2 MÁQU
12		APLIQUE	CL	182	195	1,19			
13		ATUADOR PORTINHOLA	CL	12	13	0,10			
14		CONJUNTO DE PEDAIS	CL	164	175	0,30			
15		CONJUNTO DE PEDAIS	ZA	270	289	0,18			
16		TOTAL		628	672	1,76	2	88%	
17									
18	POSTO III	COMPONENTES	MODELO	TEMPOS	TEMPO C/7%	MÃO-DE-OBRA	MÃO-DE-OBRA LIBERADA	SATURAÇÃO	
19									
20									

Figura 20: Simulação a partir de dados planejados, com reformulação dos postos

A segunda alternativa envolve a produção vinculada à linha de montagem e apresenta para a empresa um problema, já que os seus operadores deixam de trabalhar no produto final para efetuar preparações de peças, que poderiam ser disponibilizadas diretamente para montagem. Desta maneira, essa oportunidade apresenta-se como a menos desejável, visto que não agrega valor ao produto final e gera gargalos no processo. A simulação de seu processo, no modelo, é mais complexa, visto que seria necessário importar os dados de todas as atividades desempenhadas na linha de montagem, e mesmo assim o modelo geraria valores de carga de trabalho 20% superiores (constatação empírica) aos da mesma operação realizada em bancada, fato que foge do foco deste trabalho.

Porém através da análise do ambiente produtivo desenvolveu-se uma opção para os casos que envolvem a necessidade física de manter as submontagens na linha. Desta maneira surge a terceira proposta, que aqui se caracteriza por flexibilidade mista de mão-de-obra, e integra os dois tipos de flexibilidade citados anteriormente em um

modelo mais completo e capaz de responder de maneira eficaz as variações e incertezas do processo.

O princípio básico desta proposta é potencializar as oportunidades de resposta as variações de MIX e volume, as quais afetam drasticamente o balanceamento das atividades, e por consequência, a saturação da carga de trabalho atrelada a cada atividade. Uma simulação deste tipo de flexibilidade foi desenvolvida a partir de três operações distintas, que possibilitaram apresentar uma solução para flexibilidade de manufatura a partir da saturação da carga de trabalho da mão-de-obra. Esta simulação, assim como as anteriores, adotou duas condições de processo diferentes, representadas na Tabela 6.

A partir desses dados de processo pode-se avaliar a resposta das três operações analisadas: volante, junta elástica (ambas atividades de submontagem, apresentadas na Figura 7) e cross member (atividade de montagem, não contemplada na Figura 7, mas compilada pelo programa na simulação), criando proposta de postos de trabalho capazes de utilizar mão-de-obra mista, ou seja, especializada em trabalho em bancada ou da linha de montagem.

Tabela 6: MIX adotado na simulação da flexibilidade mista

Dados da Produção do MYA						
MIX (NFC)			VARIÁÇÕES DO CLASSIC			Fração
MODELO	%	un	CLARG.	18,7	3	0,34
CO 5P	45	21	CLDRA.	36,3	17	0,66
CO 4P	0	0	CLDRA. CEE	32	15	0,87
ME	0	0	CLDRA. A31	9	4	0,16
ZA	0	0	DIREÇÃO HID. H 48	50	23	0,91
CL	55	25				
		46				
MIX (NwR)						
MODELO	%	un				
CO 5P	45	22				
CO 4P	0	0				
ME	0	0				
ZA	0	0				
CL	55	27				
		43				
TT [s]			74	overspeed		
ATT [s]			63			
NFC [JPH]			46			
NwR			43			
Dados do Planejamento do MYA						
MIX (NFC)			VARIÁÇÕES DO CLASSIC			Fração
MODELO	%	un	CLARG.	15	7	0,34
CO 5P	55	25	CLDRA.	30	14	0,66
CO 4P	0	0	CLDRA. CEE	26	12	0,87
ME	0	0	CLDRA. A31	7	3	0,16
ZA	0	0	DIREÇÃO HID. H 48	41	19	0,91
CL	45	21				
		46				
MIX (NwR)						
MODELO	%	un				
CO 5P	55	27				
CO 4P	0	0				
ME	0	0				
ZA	0	0				
CL	45	22				
		43				
TT [s]			74	overspeed		
ATT [s]			63			
NFC [JPH]			46			
NwR			43			

Para o primeiro caso, caracterizado pela produção de 45% do modelo CO 5P e 55% do modelo CL a 46 unidades por hora, identifica-se a oportunidade de realizar duas atividades pelo operador da linha (junta elástica e cross member), enquanto que o operador especializado em bancada executa apenas uma operação (volante), permitindo assim melhor balanceamento das atividades e evitando sobrecarga, como é apresentado na Tabela 7.

Tabela 7: Simulação do Caso 1

POSTO DE TRABALHO	ATIVIDADES	CARGA DE TRABALHO	MÃO-DE-OBRA	CARGA ACUMULADA
1	VOLANTE	0,70	BANCADA	0,70
2	JUNTA ELÁSTICA	0,21	LINHA	0,56
	CROSS MEMBER	0,35	LINHA	

Para o segundo caso, caracterizado pela produção de 70% do modelo CO 5P e 30% do modelo CL a 46 unidades por hora, identifica-se o inverso do primeiro caso, ou seja, a oportunidade de realizar uma atividade pelo operador da linha (cross member), enquanto que o operador especializado em bancada executa duas operações (volante e junta elástica), permitindo manter um balanço favorável das atividades e evitando sobrecarga, como é apresentado na Tabela 8.

Tabela 8: Simulação do Caso 2

POSTO DE TRABALHO	ATIVIDADES	CARGA DE TRABALHO	MÃO-DE-OBRA	CARGA ACUMULADA
1	VOLANTE	0,38	BANCADA	0,70
	JUNTA ELÁSTICA	0,32	LINHA	
2	CROSS MEMBER	0,54	LINHA	0,54

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para desenvolver o modelo deparou-se com algumas dificuldades em relação à coleta de dados, os quais se apresentaram muito dinâmicos, devido as constantes variáveis e incertezas no processo. Foi necessário desenvolver um método que permitisse analisá-los, levando em conta suas variações com a mão-de-obra, o planejamento de produção e modificações do projeto.

A partir da tomada, efetiva, dos dados e das revisões mensais das atividades (modelo, tempo de operação, layout, etc.) foi possível iniciar testes com o modelo, que permitiram identificar oportunidades estratégicas na empresa. Deparou-se com grandes lacunas referentes à comunicação departamental, o que dificultou a plena implementação do método, pois a melhoria da flexibilidade nas operações de submontagem não pode ser aplicada a todas aquelas que foram catalogadas na Tabela 6, devido às diferentes prioridades de cada gestor.

Desta maneira o modelo desenvolvido apresentou-se como uma ótima ferramenta para tomada de decisão estratégica, porém não se tornou efetivo no dia-a-dia da organização. Outro fator potencial levantado é o fato de todo o sistema de planejamento de produção da empresa, ser dependente do departamento de vendas, e, portanto, não seguir um fluxo lógico para garantir um *MIX* ou um volume constante, o que dificulta e muito o planejamento estratégico baseado no modelo desenvolvido, já que para alcançar a flexibilidade é necessário se basear em dados de processo sólido que possibilitem a tomada de decisão correta.

Porém para as simulações, que foram realizadas com o processo sob controle (sem variações e incertezas relacionadas ao planejamento de produção e infraestrutura), obteve-se resultados satisfatórios que refletiram na otimização da mão-de-obra do processo, amortizando a necessidade de contratações e demissões inerentes as oscilações do volume e do mercado. Pois ao empregar o modelo para tomada de decisão, o gestor potencializa a sua visão sobre a saturação da carga de trabalho

necessária a cada atividade de submontagem, facilitando o balanceamento e a reestruturação dos postos de trabalho.

4.1. Verificação dos objetivos

O objetivo geral foi alcançado, porém restam algumas ponderações a serem feitas. Isto, pois ao propor o método, subtemde-se que este seria capaz de atender todas as necessidades e incertezas da empresa, fato que foi levantado e apresentou-se oportunidades de melhoria, principalmente em relação à comunicação e ao sistema de planejamento de produção da empresa, que facilitaria a implementação do método para as submontagens e até mesmo poderia expandi-lo para as outras operações encontradas na linha de produção.

Quanto aos objetivos específicos, pode-se apresentar no trabalho, que a tomada de dados foi efetiva, desde a identificação até a coleta de informações relevantes ao processo, incluindo as definições conceitual-teóricas adotadas, que possibilitaram a definição da mão-de-obra e do controle como as duas dimensões de maior influência no processo.

Desta forma, a proposta do trabalho pode ser alcançada, e a partir do modelo proposto conseguiu-se caracterizar as possíveis respostas do sistema às variações e incertezas do MIX de produção e do volume.

4.2. Sugestões para trabalhos futuros

Tendo como base os resultados obtidos neste trabalho, e buscando a implementação da flexibilidade como alternativa para amortização ou resposta às

variações e incertezas encontradas nas organizações, é importante focar nas dimensões de flexibilidade que vigoram no ambiente a ser analisado. Desta maneira, garantindo que a abordagem do processo não seja apenas empírica, mas baseada em dados do próprio sistema, que permite uma retroalimentação a partir de simulações de flexibilidade, assim como foi executado neste trabalho.

É importante, também, analisar os sistemas integrados da empresa, pois somente o sistema em análise pode não fornecer as respostas necessárias para implementação ou proposta de um modelo de flexibilidade de manufatura viável. Isto se dá, devido à maioria dos sistemas serem interdependente, e suas respostas as variáveis do processo não serem sempre coincidentes. Portanto para projetos futuros, seria interessante uma abordagem mais ampla, considerando não apenas um subsistema ou área da empresa, mas sim o processo de maneira geral, para obterem-se resultados mais significantes, que pudessem gerir o planejamento estratégico em resposta as variações e incertezas do ambiente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADLER, P. S.; GOLDOFTAS, B. & LEVINE, D. I. **Organization flexibility versus efficiency? A case study of model changeovers in the Toyota Production System.** Science, v. 10, n. 1, 1999, pp. 43-68.

ARENALES, M.; ARMENTANO, V.; MORABITO, R.; YANASSE, H. **Pesquisa operacional.** Rio de Janeiro: Campus/Elsevier, 2007.

BEACH, R.; MUHLEMANN, A. P.; PRICE, D.H.R.; PATERSON, A. & SHARP, J.A. **A review of manufacturing Flexibility.** European Journal of Operational Research, v. 122, 2000, pp. 41-57.

BENGTSSON, J. **Manufacturing flexibility and real options: A review.** International Journal of Production Economics, v. 74, n. 1-3, 2001, pp. 213–224.

BENGTSSON, J. & OLHAGER, J., **The impact of the product mix on the value of flexibility.** The international journal of management science, v. 30 n. 4, 2002, pp. 265-273.

BOYLE, T. A. **Towards best management practices for implementing manufacturing flexibility.** Journal of Manufacturing Technology Management, v. 17, n. 1, 2006 pp. 6-21.

BRANCO, P. D. & VERGARA, S. C. **Empresa Humanizada: A organização necessária e possível.** Revista de Administração de Empresas, v. 41 n.2, 2001, pp. 20-30.

CORREA, H. L. & GIANESI, I. G. N. **Just in Time, MRP II e OPT: Um Enfoque Estratégico.** São Paulo: Atlas, 1993.

CRAIGHEAD, C. W.; MEREDITH, J. **Operations management research: evolution and alternative future paths.** Journal of Operations & Production Management, v. 28, n. 8, p.710-726, 2008.

CROOM, S. **Topic Issues and Methodological Concerns for Operations Management Research.** EDEN Doctoral Seminar on Research Methodology in Operations Management, Brussels, Belgium, 31st Jan.-4th Feb, 2005.

DE TONI, A. & TONCHIA, S. **Manufacturing flexibility: a literature review.** *International Journal of Production Research*. V. 36, n. 6, 1998, pp. 1587-1617.

DE TREVILLE, S; BENDAHAN, S. & VANDERHAEGHE, A. **Manufacturing flexibility and performance: bridging the gap between theory and practice.** *International Journal of Flexibility Manufacturing Systems*, v. 19, 2007, pp. 334–357.

FORZA, C. **Survey Research in Operations Management: a Processbased Perspective.** *International Journal of Operations & Production Management*, v. 22, n. 2, p. 152-194, 2002.

GAITHER, N. & FRAZIER, G. **Administração da Produção e Operações.** São Paulo: Thomson Learning, 2004.

GERWIN, D. **Manufacturing flexibility: a strategic perspective.** *Management Science*; v. 39, n. 4, 1993, pp. 395-410

GINSBERG, A. & VENKATRAMAN, N. **Contingency perspectives of organizational strategy: A critical review of the empirical research.** *Academy of Management Review* v. 10, 1985, pp. 421–434.

GUPTA, Y. P. & BUZACOTT, J. A. **A framework for understanding flexibility of manufacturing systems.** *Journal of Manufacturing Systems*, v. 8, n. 2, 1989, pp. 89-97.

GUPTA, Y. P. & GOYAL, S. **Flexibility of manufacturing systems: concept and measurements.** *European Journal of Operational Research*, v. 40, 1989, pp. 119-135.

GUPTA, Y. P. & SOMERS, T. M. **The measurement of manufacturing flexibility.** *European Journal of Operational Research*, v. 60, 1992, pp. 166-192.

GUPTA, A. B. & SINGH, T. P. **Flexibility in an automobile manufacturing enterprise.** *Global Journal of Flexible Systems Management*, v. 2, n. 1, 2001, pp. 43-50.

GUPTA, D. **On measurement and valuation of manufacturing flexibility.** *International Journal of Production Research*, v. 31, n. 12, 1993, pp. 2947-2958.

GUPTA, D., Y. GERCHAK & J. A. BUZACOTT. **The optimal mix of flexible and dedicated manufacturing capacities: Hedging against demand uncertainty.** International Journal of Production Economics, v. 28, n. 3, 1992, pp. 309-319.

GUPTA, Y. P. & SOMERS, T. M. **Business strategy, manufacturing flexibility, and organizational performance relationships: A path analysis approach.** Production and Operations Management, v. 5, n. 3, 1996, pp. 204-233.

KARA, S. & KAYIS, B. **Manufacturing flexibility and variability: an overview.** Journal of Manufacturing Technology Management, v.15, n. 6, 2004, pp. 466-478.

KOSTE L. L.; MALHOTRA M. K. & SHARMA S. **Measuring dimensions of manufacturing flexibility.** Journal of Operations Management , v. 22, n 2, 2004, pp. 171–196.

KOSTE, L. L. & MALHOTRA, M. K. **A theoretical framework for analyzing the dimensions of manufacturing flexibility.** Journal of Operations Management, v.18, 1999, pp. 75–93.

KOSTE, L. L. & MALHOTRA, M. K. **Trade-offs among the elements of Flexibility: a comparison from the automotive industry.** The International Journal of Management Science, v. 28, 2000, pp. 693-710.

LLORENS, F. J.; MOLINA, L. M. & VERDU, A. J. **Flexibility of manufacturing systems, strategic change and performance.** International Journal of Production Economics, v. 98, 2005, pp. 273–289.

MEREDITH, J.R.; RATURI, A. AMOAKO-GYAMPAH, K.; KAPLAN, B. **Alternative research paradigms in operation.** Journal of Operation Management, v.8, p. 297-326, 1989.

MILLER, D. & SHAMSIE, J. **Strategic responses to three kinds of uncertainty: product line simplicity at the Hollywood film studios.** Journal of Management v. 25, n. 1, 1999, pp. 97–116.

MITROFF, I.; BETZ, F.; PONDY, L.; SAGASTI, F. **On managing science in the system age: two schemas for study of science as a whole system phenomenon.** Interfaces, v.4, n.3, p.46-58, 1974.

MORABITO, R. **Pesquisa Operacional**, In: Batalha, M. (Ed.). Introdução à engenharia de produção. Rio de Janeiro: Campus/Elsevier, 2008.p. 157-182.

NARASIMHAN, R.; TALLURI, S. & DAS, A. **Exploring flexibility and execution competencies of manufacturing firms**. Journal of Operations Management, v. 22, 2004, pp. 91–106.

NARAIN, R.; YADAV, R.C; SARKIS, J. & CORDEIRO, J. J. **The strategic implications of flexibility in manufacturing systems**. International Journal of Agile Management Systems, v. 2, n. 3, 2000, pp. 202-213.

NILSSON, C. H. & NORDAHL, H. **Making manufacturing flexibility operational – part 1: a framework**. Integrated Manufacturing Systems, v. 6, no 1, 1995, pp. 5-11.

OLHAGER J. & WEST B. M. **The house of flexibility: using the QFD approach to deploy manufacturing flexibility**. International Journal of Operations and Production Management, v. 22, n 1, 2002, pp. 50–79.

OLHAGER, J. **Manufacturing flexibility and profitability**. International Journal of Production Economics v. 30-31, 1993, pp. 67–78.

PADOVEZE, C. L. & BERTOLUCCI, R. G. **Proposta de um Modelo para o Gerenciamento do Risco Corporativo**. In: Anais XXV Encontro Nacional de Engenharia de Producao, Porto Alegre, 2005.

PAGELL, M. & KRAUSE, D. R. **A multiple-method study of environmental uncertainty and manufacturing flexibility**. Journal of Operations Management, v. 17, 1999, pp. 307–325.

PAGELL, M. & KRAUSE, D. R. **Re-exploring the relationship between flexibility and the external environment**. Journal of Operations Management, v. 21, 2004, pp. 629–649.

PANHOCA, L. **Administração do risco de propostas e estudos de viabilidade na industria aeronáutica brasileira: uma abordagem de controladoria**. Tese de Doutorado da Faculdade de Economia, Administracao e Contabilidade da Universidade de Sao Paulo, Sao Paulo, 2000.

PARKER, R. P. & WIRTH, A. **Manufacturing flexibility: measures and relationships**. European Journal of Operational Research, v. 118, n 3, 1999, pp. 429-449.

PONTES, R.; LEITE, M. S. & DUARTE, D. **Uma filosofia para o gerenciamento dos riscos na construção civil**. In: Anais XXIII Encontro Nacional de Engenharia de Producao – XXIII ENEGEP, Niteroi, 1998.

PORTER, M. **Vantagem Competitiva: Criando e Sustentando um Desempenho Superior**. Rio de Janeiro: Campus, 1989.

REID, D. & SANDERS, N. **Gestão de Operações**. Rio de Janeiro: LTC, 2005.

SCALA, J; PURDY, L & SAFAYENI, F. **Application of cybernetics to manufacturing flexibility: a systems perspective**. Journal of Manufacturing Technology Management, v. 17, n. 1, 2006, pp. 22-41.

SERRAO, R. O. B. **Um estudo sobre a flexibilidade de manufatura e sua percepção e efetivação em micro e pequenas empresas**. Dissertacao de Mestrado. Departamento de Engenharia Industrial. Pontificia Universidade Catolica do Rio de Janeiro, 2001.

SERRAO, R. O. B. **Operacionalização da flexibilidade de manufatura: análise das influências do relacionamento produtor-fornecedor**. Tese de Doutorado. Departamento de Engenharia Industrial. Pontificia Universidade Catolica do Rio de Janeiro, 2005.

SLACK, N. **Vantagem competitiva em manufatura: atingindo a competitividade nas operações industriais**. São Paulo: Atlas, 1993.

SLACK, N. **Flexibility as a manufacturing objective**. International Journal of Operations and Production Management 33, 1983, pp. 4–13. 244

SLACK, N. **The flexibility of manufacturing systems**. International Journal of Operations & Production Management, v. 25, n. 12, 2005 pp. 1190-1200.

SLACK, N.; CHAMBERS, S. & JOHNSTON, R. **Administração da Produção**, São Paulo: Atlas, 2002. SON, Y. K. & PARK, C.

SON, Y. K. & PARK, C. S. **Economic measure of productivity, quality, and flexibility in advanced manufacturing systems**. Journal of Manufacturing Systems, v. 12, n. 1, 1987, 193 – 207.

SOUZA, R.; VOSS, C. **Quality Management: Universal or Context Dependent?** *Production and Operations Management*, v. 10, n. 4, p. 383-404, 2001.

SOUZA, R. **Linking Quality Management to Manufacturing Strategy: An Empirical Investigation of Customer Focus Practices?** *Journal of Operations Management*, v. 21, n. 1, p. 1-18, 2003.

SUAREZ, F. F.; CUSUMANO, M. A. & FINE, C. H. **An Empirical Study of Flexibility in Manufacturing.** *Sloan Management Review*, v. 37, n. 1, 1995, pp. 25-32.

SUAREZ, F. F.; CUSUMANO, M. A. & FINE, C. H. **An empirical study of manufacturing flexibility in printed circuit board assembly.** *Operations Research*, v. 44, n. 1, 1996, pp. 223-240.

SWAMIDASS, P. M. & NEWELL, W. T. **Manufacturing strategy, environmental uncertainty and performance: a path analytic model.** *Management Science*, v. 33, n. 4, 1987, pp. 509-524.

UPTON, D. M. **Flexibility as process mobility: The management of plant capabilities for quick response manufacturing.** *Journal of Operations Management*, v. 12, 1995, pp. 205-224.

UPTON, D. M. **Process range in manufacturing: an empirical study of flexibility.** *Management Science*, v. 43, 1997, pp. 1079–1092.

UPTON, D. M. **The management of manufacturing flexibility.** *California Management Review*, v. 36, n. 2, 1994, pp. 72-89.

VOKURKA, R. J. & O'LEARY-KELLY, S. W. **A review of empirical research on manufacturing flexibility.** *Journal of Operations Management*, v. 18, 2000, pp.485–501.

WAHAB, M. I. M.; WU, D. & LEE, C. **A generic approach to measuring the machine flexibility of manufacturing systems.** *European Journal of Operational Research*, v. 186, 2008, pp. 137–149.

WATTS, C., HAHN, C. & SOHN, B. **Manufacturing flexibility: concept and measurement.** Operations Management Review. v. 9 n. 4, 1993, pp. 33–44.

YIN, R. K. **Estudo de caso:** Planejamento e metodos. 2a edicao. Sao Paulo: Bookman, 2001.