

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

**SISTEMATIZAÇÃO DO PLANEJAMENTO DA SEQÜÊNCIA DE
MONTAGEM DE PRODUTOS INDUSTRIAIS**

**DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA
CATARINA PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM
ENGENHARIA MECÂNICA**

ENG.º ALAN PAUPITZ

FLORIANÓPOLIS, MARÇO DE 2000

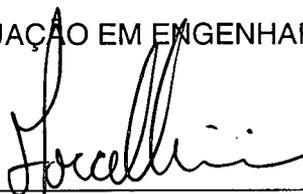
SISTEMATIZAÇÃO DO PLANEJAMENTO DA SEQÜÊNCIA DE MONTAGEM DE PRODUTOS INDUSTRIAIS

ALAN PAUPITZ

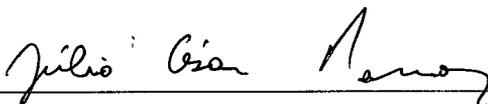
ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE

MESTRE EM ENGENHARIA

ESPECIALIDADE ENGENHARIA MECÂNICA, ÁREA DE CONCENTRAÇÃO PROJETO DE
SISTEMAS MECÂNICOS, E APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

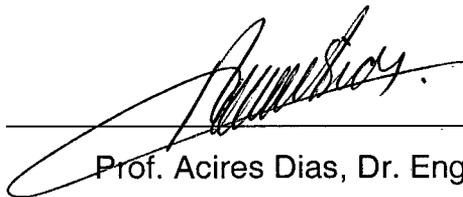


Prof. Fernando A. Forcellini, Dr. Eng. – Orientador



Prof. Júlio César Passos, Dr. Eng. – Coordenador do Curso

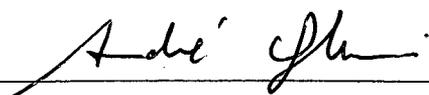
BANCA EXAMINADORA



Prof. Acires Dias, Dr. Eng. – Presidente



Prof. Miguel Fiod Neto, Dr. Eng.



Prof. André Ogliari, Dr. Eng.

AGRADECIMENTOS

À minha mãe, Maria Emilia Ribeiro, que me incentivou e esteve sempre presente, mesmo nos momentos mais difíceis;

À minha esposa, Lisiane Geisler, pelo apoio e carinho dispensados a todo instante;

Aos amigos Alex, Augusto, Castaldo, Eduardo, João, Julio, Juscelino, Luciano e Marcos, que me acompanharam durante toda esta jornada;

Ao Prof. Fernando A. Forcellini, pela oportunidade concedida e orientação durante a realização de todo este trabalho;

Ao CNPQ, pelo apoio financeiro prestado para a realização desta pesquisa;

À Renault do Brasil S.A., por abrir as suas portas e permitir a realização do estudo de caso;

Aos amigos da WEG Motores S.A. e Renault do Brasil S.A., pelos valiosos conselhos.

ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS.....	VI
LISTA DE TABELAS.....	XII
LISTA DE ABREVIações.....	XIII
RESUMO.....	XV
ABSTRACT.....	XVI
CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO	
1.1 – A Importância da Manufatura.....	01
1.2 – Racionalização da Montagem – Uma Necessidade.....	05
1.3 – Projeto para Montagem.....	06
1.3.1 – Benefícios da Aplicação do DFA na Montagem Automatizada.....	08
1.3.2 – Recomendações de Projeto para a Montagem.....	10
1.4 – Proposta de Trabalho.....	11
1.5 – Justificativas.....	13
1.6 – Estrutura da Dissertação.....	17
CAPÍTULO 2 – MONTAGEM – CONCEITOS BÁSICOS	
2.1 – Introdução.....	19
2.2 – Montagem.....	19

2.2.1 – Classificação da Montagem.....	20
2.3 – Por que Montar?	20
2.4 – O Processo de Montagem.....	22
2.4.1 – Divisão do Processo de Montagem.....	23
2.4.2 – Operações de Montagem.....	24
2.5 – Sistemas de Montagem.....	29
2.5.1 – Definição e Tipos de Sistemas de Montagem.....	29
2.5.2 – Balanceamento de Sistemas de Montagem.....	31
2.5.3 – Configuração dos Sistemas de Montagem.....	35
2.6 – Considerações Finais.....	39
 CAPÍTULO 3 – PLANEJAMENTO DA SEQÜÊNCIA DE MONTAGEM	
3.1 – Introdução.....	41
3.2 – Produto.....	42
3.2.1 – Descrição das Peças.....	42
3.2.1.1 – Descrição das Peças através de Tecnologia de Grupo.....	43
3.2.1.2 – Descrição das Peças através de Topologia.....	46
3.2.1.3 – Descrição das Peças através de “Features”.....	47
3.2.2 – Estrutura do Produto.....	50
3.2.3 – Conexões entre as Peças.....	51
3.3 – O Planejamento da Seqüência de Montagem – PSM.....	53
3.3.1 – Representação das Seqüências de Montagem.....	55
3.3.1.1 – Representação por Diagramas de Precedência.....	55
3.3.1.2 – Representação por Diagramas de Ligação.....	58
3.3.1.3 – Representação por Gráficos “e/ou”.....	59
3.3.1.4 – Representação por Redes de Petri.....	61

3.3.2 – Geração das Seqüências de Montagem.....	65
3.4 – Considerações Finais.....	66
 CAPÍTULO 4 – ESTADO DA ARTE DO PSM	
4.1 – Introdução.....	68
4.2 – Utilização de Gráficos para a Realização do PSM.....	68
4.2.1 – Introdução.....	68
4.2.2 – Exemplo: Representação de Planos de Montagem Através de Gráficos “e/ou”.....	70
4.2.3 – Síntese.....	72
4.3 – Utilização da Heurística para a Realização do PSM.....	73
4.3.1 – Introdução.....	73
4.3.2 – Exemplo: O Uso da Heurística para o PSM.....	76
4.3.3 – Síntese.....	79
4.4 – Utilização de Sistemas Computacionais para a Realização do PSM.....	80
4.4.1 – Introdução.....	80
4.4.2 – Exemplo: Projeto Orientado para a Montagem.....	81
4.4.3 – Síntese.....	85
4.5 – Outras Abordagens.....	86
4.5.1 – Introdução.....	86
4.5.2 – Exemplo: Modelamento de Sistemas de Montagem através de Redes de Petri.....	87
4.5.3 – Síntese.....	90
4.6 – Considerações Finais.....	90

CAPÍTULO 5 – SISTEMÁTICA PROPOSTA PARA O PSM

5.1 – Introdução.....	94
5.2 – Sistemática Proposta.....	94
5.2.1 – Informações Iniciais.....	98
5.2.2 – Determinação do Tipo de Montagem.....	98
5.2.3 – Processos Integrados.....	99
5.2.4 – Geração, Avaliação, Simulação e Escolha da(s) Melhor(e)s Seqüência(s).....	101
5.2.5 – Agrupamento das Peças e Determinação das Submontagens.....	106
5.2.6 – Análise das Restrições.....	107
5.2.7 – Definição das Operações e Elaboração da Documentação de Processo.....	108
5.2.8 – Considerações sobre a Movimentação de Materiais.....	110
5.2.9 – Projetar ou Reprojetar o Produto/Sistema de Montagem e Recursos Tecnológicos.....	113
5.2.10 – Implementação.....	115
5.3 – Considerações Finais.....	116

CAPÍTULO 6 – ESTUDO DE CASO

6.1 – Introdução.....	118
6.2 – Informações Iniciais e Determinação do Tipo de Montagem.....	120
6.3 – Processos Integrados.....	122
6.4 – Determinação das Submontagens.....	125
6.5 – Definição das Operações de Montagem.....	132
6.6 – Avaliação dos Recursos Tecnológicos Existentes / Disponíveis.....	135

6.7 – Projetar e/ou Adaptar o Sistema de Montagem.....	136
6.8 – Projetar / Reprojetar o Produto.....	138
6.9 – Agrupamento das Peças.....	140
6.10 – Análise das Restrições, Estabelecimento, Avaliação, Simulação e Escolha das Seqüências de Montagem.....	141
6.10.1 – Exemplo: Grupo do Braço Inferior de Suspensão.....	142
6.10.2 – Estabelecimento da Seqüência de Montagem do GMP e Balanceamento.....	148
6.11 – Considerações sobre Logística / Movimentação de Materiais.....	150
6.12 – Elaboração da Documentação de Processo.....	154
6.13 – Implementação.....	155
6.14 – Considerações Finais.....	157
CAPÍTULO 7 – CONCLUSÕES	
7.1 – Comentários Gerais.....	159
7.2 – Recomendações para Trabalhos Futuros.....	161
BIBLIOGRAFIA.....	163

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

Figura 1.1 – Integração necessária entre o cliente e a empresa no desenvolvimento de um produto.....	02
Figura 1.2 – Principais causas por trás da recente revalorização da manufatura [Côrr96].....	04
Figura 1.3 – Obstáculos para a automação no campo da montagem [Bäss88].....	09
Figura 1.4 – Custos de manufatura (excluso o custo “overhead”). Os fatores que afetam o custo relativo de cada componente são listados. Note que o projeto afeta todos os três (adaptação da Figura 8.4 de [Hand92b]).....	15
Figura 1.5 – Custos de manufatura - incluso o custo “overhead” (adaptação da Figura 8.5 de [Hand92b]).....	15
Figura 1.6 – Estrutura da dissertação.....	18

CAPÍTULO 2 – MONTAGEM – CONCEITOS BÁSICOS

Figura 2.1 – Situações onde a montagem se faz necessária.....	22
Figura 2.2 – Modelo generalizado do processo de montagem, incluindo alguns processos integrados (Adaptação das Figuras 3.5 e 3.6 de [Andr88]).....	23

Figura 2.3 – Um processo de montagem é constituído das operações de manuseio, composição e conferência, assim como por processos especiais, caso requeridos. Estes processos podem ainda ser subdivididos em armazenamento, transporte e posicionamento, além de operações especiais conectadas a composição e conferência [Andr88].....	25
Figura 2.4 – Descrição das diversas operações constituintes da operação básica manipulação [Andr88].....	26
Figura 2.4 – Continuação.....	27
Figura 2.5 – Concepção do sistema de uma empresa, mostrando o relacionamento da montagem com outras funções [Andr88].....	30
Figura 2.6 – Leiaute conceitual de uma linha de montagem em série.....	37
Figura 2.7 – Leiaute conceitual de uma linha de montagem flexível (Adaptação da Figura 2 de [Litt96]).....	38
Figura 2.8 – Leiaute conceitual de uma célula de montagem flexível multi-estágio.....	39
 CAPÍTULO 3 – PLANEJAMENTO DA SEQÜÊNCIA DE MONTAGEM	
Figura 3.1 – Exemplo de uma matriz máquina-peça [Ferr96].....	45
Figura 3.2 – Representação de uma peça rotacional simétrica em elementos de forma [Hito79].....	47
Figura 3.3 – Exemplos de diferentes “features” em peças mecânicas (adaptação da Figura3.1 de [Salo95]).....	47
Figura 3.4 – Ilustração de uma estrutura de produto hierárquica [Hito79].....	50
Figura 3.5 – Representação da estrutura do produto ou da lista de materiais através de diagramas. (a) Árvore (b) Matriz de incidência (c) Gráfico [Hito79].....	51
Figura 3.6 – Definição do modelo de conexão [Mart91].....	52

Figura 3.7 – (a) Peças constituintes de uma caneta esferográfica. (b) e (c) Diagramas de precedência para a caneta da Figura (a).....	56
Figura 3.8 – Diagrama de ligação para a caneta esferográfica da Figura 3.7 (a)..	59
Figura 3.9 – Gráfico “e/ou” para a caneta esferográfica da Figura 3.7 (a).....	61
Figura 3.10 – Relações de causalidade modeladas por Redes de Petri. (a) Sequenciamento (b) Conflito (c) Concorrência (d) Sincronização [Palo96].....	62
Figura 3.11 – (a) Montagem de um conjunto (amortecedor dianteiro, mola e batentes) no munhão de um veículo (b) Representação desta operação por meio de uma RdP.....	64

CAPÍTULO 4 – ESTADO DA ARTE DO PSM

Figura 4.1 – Etapas básicas da abordagem gráfica para a realização do PSM.....	69
Figura 4.2 – Gráfico “e/ou” para um produto fictício composto de uma tampa, “stick”, receptáculo e manopla [Mell86].....	71
Figura 4.3 – Etapas básicas da abordagem heurística para a realização do PSM.	74
Figura 4.4 – Exemplo da simplificação obtida no PSM, através da utilização do conceito de grupos de peças.....	74
Figura 4.5 – Exemplo de um diagrama ASTD para um dosador de cola [Heem89].....	77
Figura 4.6 – Diagrama LASTD para o dosador de cola da Figura 4.4, com o agrupamento das peças B e C (adaptação da Figura 3 de [Bone89]).....	78
Figura 4.7 – Fluxograma que representa o sistema de geração e avaliação das seqüências de montagem [Mant97].....	82
Figura 4.8 – Estrutura do método LAB`s para o projeto e estudo de sistemas de montagem [Bour94].....	88

Figura 4.9 – Representação de operações de posicionamento (a) e de um teste não destrutivo (b) através de Redes de Petri (adaptação das Figuras 9 e 11 de [Bourj94]).....	89
---	----

CAPÍTULO 5 – SISTEMÁTICA PROPOSTA PARA O PSM

Figura 5.1 – Situações a partir das quais o PSM é realizado.....	95
Figura 5.2 – Sistemática proposta para a realização do PSM.....	97
Figura 5.3 – Esquema generalizado da integração de processos na montagem (complemento da Figura 5.2).....	100
Figura 5.4 – Representação esquemática de uma linha de montagem de motores elétricos, contendo a integração dos processos de teste, pintura e empacotamento.....	100
Figura 5.5 – Exemplo de uma planilha utilizada na avaliação do processo de montagem de automóveis [cedida pela Renault do Brasil S. A.].....	105
Figura 5.6 – Fatores chave para a movimentação de materiais [Cell92].....	113

CAPÍTULO 6 – ESTUDO DE CASO

Figura 6.1 – Fotos de um GMP do motor 1.6 16 válvulas: (a) Vista frontal (b) Vista posterior.....	119
Figura 6.2 – (a) Esquema geral da linha de montagem da Fábrica Ayrton Senna, demonstrando o fluxo de montagem dos veículos e destacando a linha de preparação do GMP.....	123
Figura 6.2 – (continuação) (b) Leiaute da linha de montagem do GMP.....	124
Figura 6.3 – Desenho esquemático do conjunto motor, destacando suas principais peças e o suporte de montagem do GMP.....	126
Figura 6.4 – Desenhos em explosão com as principais peças constituintes das submontagens: (a) conjunto amortecedor/mola e (b) conjunto munhão/disco de freio.....	127

Figura 6.5 – Foto do carrinho utilizado para o transporte dos conjuntos amortecedor/mola e munhão/discos de freio.....	128
Figura 6.6 – (a) Desenho em explosão das peças constituintes do conjunto reservatório DA.....	129
Figura 6.6 – (continuação) (b) Foto do dispositivo utilizado na montagem do conjunto reservatório DA.....	129
Figura 6.7 – (a) Desenho esquemático do conjunto radiador para um veículo com AC.....	131
Figura 6.7 – (continuação) (b) Mesa de preparação utilizada na montagem do conjunto radiador.....	132
Figura 6.8 – Tabela de tempos Renault. Desenvolvida para agilizar o processo de determinação dos tempos de montagem [cedida pela Renault do Brasil S.A.]..	133
Figura 6.9 – Detalhe da espuma de proteção do amortecedor.....	136
Figura 6.10 – Detalhe do suporte para o escapamento do motor 1.6 16 válvulas..	136
Figura 6.11 – (a) Antiga configuração para fixação do conector do sensor de rotação do motor (b) Nova configuração, após a eliminação da presilha, parafuso e da arruela.....	138
Figura 6.12 – (a) Grupo da barra estabilizadora (b) Grupo da caixa de direção (c) Grupo do escapamento primário.....	140
Figura 6.13 – Desenho em explosão das peças constituintes do grupo braço inferior de suspensão.....	143
Figura 6.14 – Diagrama de ligação para a montagem do braço inferior de suspensão.....	143
Figura 6.15 – Diagrama inicial representando todas as 48 seqüências possíveis para a montagem do braço inferior de suspensão.....	145
Figura 6.16 – Diagrama resultante após a aplicação das imposições de processo. Apenas quatro seqüências possíveis.....	147

Figura 6.17 – Balanceamento teórico obtido para a linha de montagem do GMP..	149
Figura 6.18 – Recomendações ergonômicas para o posicionamento das embalagens nas estantes, de acordo com o peso das mesmas.....	151
Figura 6.19 – (a) Planilha de dados para a construção do gráfico de auxílio a implantação logística das peças na linha de montagem (b) Exemplo de um gráfico obtido através da aplicação da planilha.....	152
Figura 6.20 – Exemplo do estudo realizado para o posicionamento das embalagens na estante da estação de trabalho 11E.....	154

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

Tabela 1.1 – Recomendações de Projeto para a Montagem.....	10
Tabela 1.2 – Razões pelas quais as pessoas compram um produto [Pugh90].....	13
Tabela 1.3 – Contribuições do PSM com relação as prioridades competitivas.....	16

CAPÍTULO 4 – ESTADO DA ARTE DO PSM

Tabela 4.1 – Distribuição dos pesos para os hiperarcos da Figura 4.4 [Mell86]....	72
Tabela 4.2 – Tabela comparativa entre as três principais abordagens identificadas para a realização do PSM.....	93

CAPÍTULO 6 – ESTUDO DE CASO

Tabela 6.1 – Comparações entre os tempos de ciclo curto e longo [Chow90].....	121
Tabela 6.2 – Peças constituintes do conjunto radiador.....	130

LISTA DE ABREVIACOES

- AC: Ar Condicionado
- ASTD: Assembly State Transition Diagram
- BMT: Basic Motion Study
- CAAPP: Computer Aided Assembly Process Planning
- CAD: Computer Aided Design
- CNC: Comando Numérico Computadorizado
- CEP: Controle Estatístico do Processo
- DA: Direção Assistida
- DFA: Design for Assembly
- DFM: Design for Manufacturability
- DMT: Dimensional Motion Study
- DNC: Direct Numeric Control
- FAS: Fábrica Ayrton Senna
- FIO: Ficha de Instrução Operatória
- FIT: Ficha de Instrução de Trabalho
- FMEA: Failure Mode and Effects Analysis
- GMP: Grupo Motor Propulsor
- ISO: International Standards Organization
- LASTD: Layered Assembly State Transition Diagram
- LUP: Lista Única de Problemas
- MODAPTS: Modular Arrangement of Predetermined Time Standard

MTM: Method Time Measurement

OPV's: Operações Variáveis

PSM: Planejamento da Seqncia de Montagem

RdP: Redes de Petri

t_c : Tempo de Ciclo

TG: Tecnologia de Grupo

TQM: Total Quality Management

RESUMO

A crescente competitividade e demanda por produtos variados, aliada a redução do ciclo de vida dos produtos, exige um ciclo de projeto mais curto e uma redução do tempo de industrialização. Estes fatores têm incentivado o estudo de técnicas que auxiliem as equipes de projeto a atingir os objetivos propostos de uma maneira rápida e eficiente. Esta pesquisa apresenta uma nova abordagem para realizar o planejamento da seqüência de montagem em produtos novos ou existentes. X

O estudo do Planejamento da seqüência de montagem é uma importante etapa, que se for bem conduzida, pode contribuir de uma maneira significativa para a redução dos custos de montagem e tempo gasto com a industrialização. Os estudos precedentes nessa área são na sua maior parte teóricos, e não apresentam uma sistemática que trate o problema de uma forma abrangente e seja adaptada à realidade industrial de nossas empresas.

Primeiramente, realizou-se um levantamento das diversas técnicas e ferramentas existentes. Em seguida, identificou-se a forma como estavam organizadas e eram aplicadas nos trabalhos já publicados. As mesmas foram classificadas em 3 grandes abordagens, as quais foram comparadas entre si com o objetivo de identificar as suas potencialidades.

A partir desse estudo inicial, foi desenvolvida uma sistemática para a realização do planejamento da seqüência de montagem, contemplando todas as etapas deste estudo e permitindo sua adaptação à metodologia de trabalho de nossas empresas. A sistemática proposta também possui o objetivo de promover a integração entre as atividades de projeto e fabricação.

A sistemática proposta foi aplicada e validada através de um estudo de caso realizado em uma das linhas de montagem da Renault do Brasil S.A.. O processo analisado foi o da montagem do GMP (Grupo Motor Propulsor), que possui uma certa complexidade, principalmente devido à diversidade de peças e por abranger um grande número de operações de segurança. Os resultados obtidos foram bastante satisfatórios e comprovam a eficiência e potencial da sistemática proposta.

ABSTRACT

The growing competitiveness and demand for different products, combined with the reduction of the product life cycle, requires the improvement of the lead-time for design and industrialization. These factors have encouraged the study of techniques that can help the project teams to achieve their goals quickly and efficiently. This research aims to provide an innovative approach in assembly process planning for the industrialization of new and existing products.

The study of the assembly sequence planning can contribute for the reduction of assembly costs and time spent with product industrialization. The previous work done in this area is theoretical, and does not bring a systematic way to treat the real problems of the field.

First, a research was made to identify the tools and techniques that exist to aid the assembly sequence planning. After that, an effort was performed to identify the way they were organized and how they were used in the consulted references. Finally they were classified in 3 approaches and compared to bring out their potentialities.

After this initial study, a method was developed to perform the assembly sequence planning. This method involves all the steps, from product choice to industrialization, and is adapted to the needs of lean production. It was also developed to promote the concurrent engineering, specially the interaction between the part designers and process engineers.

In order to validate the method, a case study was conducted in one of the assembly lines of Renault do Brazil S.A. The manufacturing process of powertrain assembly, which is complex due to the diversity of parts and great number of security operations, was analyzed. The results confirm the efficiency and the potential of the proposed method.

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 – A IMPORTÂNCIA DA MANUFATURA

O mundo está passando por um processo de mudanças, que se desencadeiam numa velocidade nunca antes vista. Grandes empresas estão transferindo suas operações para países de mão-de-obra mais barata e demitindo milhares de empregados. Nas prateleiras dos supermercados, encontramos produtos de toda parte do mundo. São sinais de que as barreiras internacionais estão caindo e as empresas que antes preocupavam-se somente com a concorrência nacional, passam a ter concorrentes de classe mundial.

Este é um dos efeitos da globalização. A globalização é um processo de aceleração capitalista, num ritmo jamais visto, em que o produtor vai comprar matéria-prima em qualquer lugar do mundo onde ela seja melhor e mais barata. Começou na pré-história, mas sempre progrediu em marcha lenta. Neste momento adquiriu um ritmo muito maior, impulsionado pela tecnologia, o aperfeiçoamento dos transportes e da comunicação.

No quadro atual, as empresas que quiserem continuar competitivas, devem desenvolver produtos otimizando fatores como tempo, custo e qualidade. O tempo (reduzido) viabiliza uma disputa de mercado onde o ciclo de vida dos produtos é cada vez menor. O custo, no desenvolvimento e na oferta do produto, coloca em risco o empreendimento e a aceitação pelos clientes. Finalmente, a qualidade, num sentido mais amplo, engloba os fatores anteriores, entre outros, e tem sido, nos tempos atuais, determinante do sucesso de muitos empreendimentos [Back96a]. A Figura 1.1 ilustra este fato.

Para se fabricar um produto de qualidade, a baixo custo e em tempo hábil, primeiramente é necessário um projeto de qualidade. No desenvolvimento de um projeto, a equipe utiliza-se de criatividade, intuição, experiência e princípios de engenharia para definir um sistema que realize as funções requeridas, sem esquecer-se da integração existente entre as atividades de projeto e de manufatura. Além disto são necessárias ferramentas, técnicas e metodologias que auxiliem a equipe a projetar um produto que satisfaça às necessidades dos clientes.



Figura 1.1 - Integração necessária entre o cliente e a empresa no desenvolvimento de um produto.

Nos últimos anos, a administração da produção passou por diversas mudanças, provenientes da necessidade de sobrevivência das empresas, frente a grande competitividade existente nos diversos setores produtivos.

Durante anos, a produção foi considerada quase como um mal necessário, suportada pelos outros setores porque, afinal, uma empresa manufatureira não podia escapar de fazer seus produtos. Os outros setores, por anos, considerados mais nobres, acostumaram-se a enxergar a fábrica como a origem principal de seus problemas. Segundo a visão de alguns destes setores, por exemplo, a fábrica insistia em grandes lotes de produção quando marketing os queria pequenos; não conseguia atingir os níveis de qualidade e confiabilidade de entrega prometidos e resistia às mudanças de programa solicitadas por vendas. A fábrica dificultava a introdução de novos produtos projetados pela engenharia, sempre solicitando alterações de projeto, alegando-os de difícil fabricação [Côrr96].

A tecnologia e o próprio processo produtivo foi deixado de lado pelos outros setores, e além disso, raramente o setor de produção participava das decisões estratégicas tomadas pela empresa.

Como resultado deste panorama, as posições entre os diversos países industrializados, como o Estados Unidos, França e Inglaterra sofreram modificações. O Japão destacou-se em segmentos de mercado como: eletrodomésticos, automóveis e eletrônicos, que já tinham líderes de mercado fortemente consolidados. É importante salientar que este fato não deve-se somente aos baixos custos de mão-de-obra, visto que os produtos japoneses também possuem superior qualidade e confiabilidade, além de se adaptarem melhor às necessidades e exigências do mercado.

Em função do acima exposto, pode-se perceber a relevância de uma análise detalhada dos motivos que levaram a essas mudanças, a fim de que se possa conhecer este processo e no futuro não recair nos mesmos erros.

Analisando-se diversas histórias de sucesso, percebeu-se que um dos pontos em comum era a excelência da manufatura. Desde a comprovação destes resultados, a manufatura vêm passando por um processo de crescente revalorização do seu papel e contribuindo de forma mais ativa para atingir os objetivos estratégicos da organização.

Côrrea [Côrr96] classifica as razões por trás desse renovado interesse em três categorias principais, (vide Figura 1.2). A primeira é a crescente pressão por competitividade que o mercado mundial tem demandado das empresas, com a queda das barreiras alfandegárias e o surgimento de novos concorrentes cada vez mais capacitados. A segunda razão é o potencial competitivo que representa o recente desenvolvimento de novas tecnologias de processo e de gestão da manufatura, como os sistemas de manufatura integrada por computador e os sistemas flexíveis de manufatura. A terceira razão está relacionada ao recente desenvolvimento de um melhor entendimento do papel estratégico que a produção pode e deve ter na obtenção dos objetivos globais da organização.

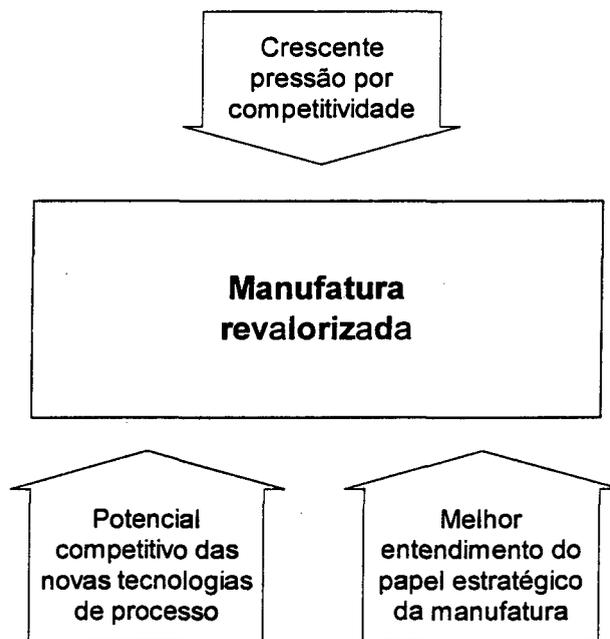


Figura 1.2 - Principais causas por trás da recente revalorização da manufatura [Côrr96]

A partir desta revalorização da manufatura, diversas técnicas, ferramentas e metodologias já existentes, mas pouco utilizadas, passaram a ganhar espaço em muitas organizações. Dentre elas pode-se destacar a engenharia concorrente, o projeto para manufatura (Design for Manufacturability - DFM) e o projeto para montagem (Design for Assembly - DFA). A utilização destas técnicas por diversos setores, juntamente com a evolução das técnicas de gerenciamento, têm levado a redução dos custos e tempos de desenvolvimento e fabricação, além de uma melhoria na qualidade (como um todo) do produto.

1.2 – RACIONALIZAÇÃO DA MONTAGEM - UMA NECESSIDADE

O mercado atual caracteriza-se pela crescente demanda por produtos variados. Isto levou a redução do ciclo de vida¹ dos produtos e forçou as indústrias a uma transição da produção em massa de poucos produtos, a uma produção menos volumosa de uma grande gama de produtos.

A redução do ciclo de vida dos produtos não somente exigiu um ciclo de projeto mais curto, como também uma abordagem mais flexível a todo o processo de desenvolvimento. Como exemplo deste fato, pode-se citar a diminuição dos lotes de fabricação e o aumento do número de variantes de produtos, que exigem uma resposta cada vez mais rápida dos processos. A automação dos desenhos e de partes do processo de projeto, através da utilização do CAD, levou a muitas melhorias, mas não reduziu suficientemente o ciclo projeto-manufatura [Litt96].

A significativa racionalização dos processos de manufatura levou ao aumento da produtividade na fabricação dos componentes. Isto deve-se principalmente a crescente utilização de tecnologias como o CNC e o DNC, além da automação em diversas áreas. Apesar disto existem muitas outras oportunidades, ainda não devidamente exploradas, para racionalização de todo o processo de manufatura.

A montagem é responsável por cerca de 50 a 75% de todo o custo gasto com a mão-de-obra para a fabricação de um produto [Baar95], e segundo Andreasen [Andr88] o tempo gasto com a montagem é de 40 a 60% do tempo total de fabricação da maior parte dos produtos. Levando-se em conta que muitos produtos manufaturados contém uma alta proporção de montagem, pode-se concluir que a racionalização da montagem pode contribuir para a melhoria do desempenho de uma fábrica.

¹Ciclo de vida do produto é entendido como as fases pelas quais passa um produto, ou seja: identificação das necessidades, projeto conceitual, projeto preliminar, projeto detalhado, avaliação do produto, produção, distribuição, uso, manutenção e descarte. As referências [Blair90] e [Back96a] trazem maiores esclarecimentos sobre o assunto.

Essa melhoria é conseguida através da introdução de um processo de manufatura eficaz para produtos que necessitem montagem. A obtenção desta eficácia se dá através da integração entre o projeto do produto com ênfase na manufaturabilidade, projeto para montagem automatizada e desenvolvimento simultâneo dos sistemas de montagem. Outro ponto de fundamental importância para o alcance desta integração é trabalhar dentro da filosofia da engenharia simultânea, com grupos de trabalho multifuncionais e altamente motivados.

1.3 – PROJETO PARA MONTAGEM

O projeto para montagem pode ser visto como uma ferramenta, um processo e uma filosofia de projeto, que visa reduzir o custo do produto através de sua análise nos estágios iniciais de desenvolvimento. A utilização do DFA também leva a uma melhoria da qualidade e da confiabilidade do produto final.

O DFA foi introduzido no final dos anos 70 pelos Dr. Geoffrey Boothroyd e Dr. Peter Dewhurst na Universidade de Massachusetts. O livro “Product Design for Assembly [Booth89]” apresenta um procedimento que permite uma avaliação para cada peça em uma montagem, baseado na sua facilidade de manuseio e inserção. Fornece um meio para o projetista comparar diversos projetos com relação a montagem, e obter uma estimativa dos custos e tempos de montagem, assim como apontar áreas para melhorias [Hand92b]. Atualmente já é usado na forma de um programa, o que permite uma maior agilidade no seu emprego.

O DFA minimiza o custo total do produto através de uma análise do tempo de montagem, custo de fabricação das peças e processo de montagem, já nos primeiros estágios do ciclo de desenvolvimento do produto. Incluindo a filosofia de projeto do DFA nos primeiros estágios do processo de projeto, consegue-se maximizar o desempenho da atividade de montagem, mantendo-se os gastos relativos ao tempo de fabricação, facilidades de processo, pessoal e espaço requerido a um nível mínimo. Bässler & Schmaus [Bäss88] destacam a importância de se fazer verificações ao final de certos estágios do processo de projeto, para que, caso seja observado, realize-se os melhoramentos apropriados. Desta maneira, evita-se esforços de desenvolvimento desnecessários.

No DFA o projeto ótimo é aquele que minimiza, entre outras coisas, o número de montagens a serem realizadas. Para que isto seja alcançado é imprescindível que se utilize a filosofia da engenharia simultânea, porque via de regra, os projetistas possuem conhecimentos limitados a respeito de montagem e equipamentos disponíveis para sua mecanização/automatização. Logo, a integração entre os diversos setores de uma empresa é fundamental para o sucesso de um projeto de produto voltado para a montagem. Um exemplo deste trabalho é o realizado pela Renault S.A. durante o desenvolvimento do veículo Clio II. Neste projeto o número de fixações passou de 2300 para 1600, os tipos de fixações de 483 para 360 e as faixas de torques de fixação de 126 para menos de 20. Com isto, obteve-se uma sensível redução no tempo de montagem, custo de ferramental e movimentação de materiais, além de maior confiabilidade do produto como um todo.

O planejamento da seqüência de montagem (PSM), que é o assunto principal desta dissertação, possui um forte relacionamento com a atividade de projeto. No momento que o projetista está determinando a estrutura do produto, ele também está delineando o processo de fabricação das peças e o processo de montagem. Através do detalhamento do projeto, muitas seqüências de montagem teoricamente possíveis, passam a ter restrições geométricas ou até de concepção do produto. Além disto, peças que poderiam ser projetadas para uma fácil montabilidade, podem requerer dispositivos de montagem complexos e de difícil implantação, principalmente no caso de uma montagem automatizada.

A aplicação do DFA envolve uma mudança de atitude da equipe multifuncional. Isto porque além de se preocuparem com os aspectos funcionais e da qualidade (como um todo), é necessário que se atenham também a problemas de manufatura, mais especificamente aos relacionados com a montagem. O desenvolvimento do PSM já nas primeiras etapas do processo de projeto, sobretudo com a determinação do tipo de montagem, escolha da seqüência de montagem e a identificação de submontagens, está tão relacionado com os aspectos de projeto do produto, que naturalmente promove a integração necessária entre áreas envolvidas. Esta integração normalmente leva a uma redução do custo final de montagem e do tempo entre o pedido e a entrega.

Na medida em que exercita-se a aplicação do DFA, o entendimento e a sua utilização tornam-se ainda mais simples, por tratar-se de um processo de aprendizagem iterativo. Isto leva a geração de resultados cada vez melhores e a exploração de novos caminhos para a realização das atividades de manufatura (principalmente devido aos freqüentes questionamentos sobre os processos utilizados).

As técnicas do DFA tornaram-se cada vez mais populares nos últimos anos, principalmente devido à automação da manufatura, diminuição do tempo de lançamento de produtos e acirrada competição doméstica e com o exterior. Muitas indústrias como a Hewlett Packard, a Motorola Radio Telephone Systems Group e a Whirlpool's já possuem sua própria história de sucesso. Por isso o DFA continua a ganhar ímpeto como uma parte de sucesso do movimento DFM e engenharia simultânea, e mais recentemente como parte de planos de qualidade como o "Total Quality Management" (TQM) e o "Motorola's Six Sigma Program" [Hand92b].

1.3.1 – BENEFÍCIOS DA APLICAÇÃO DO DFA NA MONTAGEM AUTOMATIZADA

Embora o DFA seja importante para produtos fabricados manualmente, ele é vital quando os produtos são montados automaticamente. Para que uma montagem automática seja econômica, é essencial que se leve em conta uma série de considerações na determinação da estrutura do produto e no projeto dos componentes. Pode-se dizer que uma das vantagens da introdução da automação na montagem de um produto é que ela força uma avaliação do projeto, trazendo benefícios não só para a automação, mas também para o projeto do produto [Boot92].

O projeto ou reprojeto ótimo de um produto e seus componentes é essencial para que a montagem automatizada tenha sucesso, seja eficiente e econômica. Geralmente investe-se consideráveis quantias para automatizar o processo de montagem de um produto existente sem uma análise do mesmo e de seus componentes. Em grande parte destas situações, o mais econômico seria um reprojeto do produto para facilitar a montagem automatizada, juntamente com a automatização do processo.

Em muitas empresas os requisitos para o projeto de produtos orientado a montagem não são suficientemente levados em conta durante o processo de projeto, o que produz uma série de obstáculos para a automação no campo da montagem [Holb88]. Segundo Bässler e Schmaus [Bäss88], quando os aspectos técnicos de montagem não são levados em conta durante o desenvolvimento do produto, o resultado provavelmente será a utilização de sistemas de montagem caros. Através do projeto para a montagem pode-se reduzir os custos de automação e tornar a automação possível em diversas etapas, além de diminuir os gastos com a montagem manual.

Com o objetivo de identificar os principais obstáculos existentes para a automação no campo da montagem, o Ministério de Tecnologia e Pesquisa da Alemanha desenvolveu uma pesquisa com 355 empresas. Os resultados da mesma podem ser analisados no gráfico da Figura 1.3, onde nota-se que o maior obstáculo para a automação é a não utilização das técnicas e ferramentas do DFA. Além disto o segundo item com maior incidência, problemas na manipulação de componentes, também está fortemente relacionado com a realização de um projeto voltado para a montagem e a sua integração com o sistema de montagem a ser utilizado. Ressalta-se o fato dessa pesquisa ter sido realizada pelo Ministério Alemão de Pesquisa e Tecnologia, e que provavelmente a indústria brasileira ainda é mais carente neste assunto.

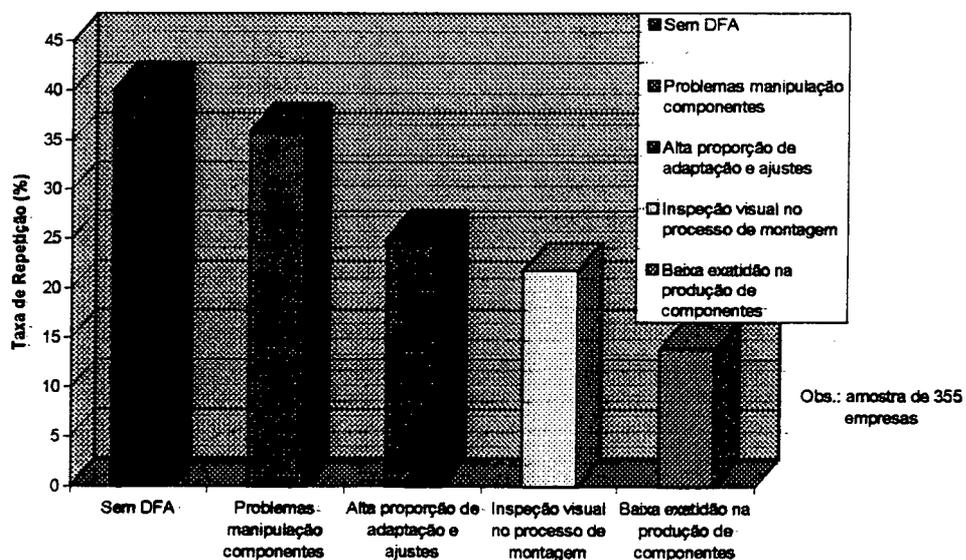


Figura 1.3 - Obstáculos para a automação no campo da montagem [Bäss88].

Uma solução para grande parte dos problemas encontrados na Figura 1.3 é a utilização da engenharia simultânea para desenvolvimento conjunto do produto e do sistema de montagem. Esta integração pode ser obtida através do estudo do PSM já nas primeiras etapas do processo de projeto do produto. Através da realização de uma análise preliminar do PSM, é possível antecipar certas características relativas ao processo de montagem do produto, e com isto obter um ganho no tempo de lançamento do produto e uma redução nos custos de fabricação.

1.3.2 – RECOMENDAÇÕES DE PROJETO PARA A MONTAGEM

Os princípios do DFA estão envolvidos principalmente com a minimização do custo da montagem dentro das restrições impostas pela necessidade de atender encaixe, forma e função da montagem [Jans91]. Para atender a estes requisitos, diversos autores propuseram recomendações de projeto, de modo a facilitar a montagem. A Tabela 1.1 apresenta algumas delas.

Tabela 1.1 – Recomendações de Projeto para a Montagem

-
- 1) Minimizar o número de peças em uma montagem;
 - 2) Projetar o produto com um componente base;
 - 3) Padronizar a função e o estilo dos produtos;
 - 4) Padronizar os componentes, principalmente os elementos de fixação;
 - 5) Facilitar a inserção de componentes;
 - 6) Projetar componentes que sejam de fácil manuseio;
 - 7) Projetar para a fácil alimentação automática;
 - 8) Utilizar uma seqüência de montagem eficiente;**
 - 9) Maximizar a acessibilidade aos componentes;
 - 10) Minimizar o número de direções de inserção;
 - 11) Projetar as peças para a fácil orientação;
 - 12) Projetar peças que sejam estáveis;
 - 13) Minimizar o peso do produto;
 - 14) Evitar o acúmulo de tolerâncias;
 - 15) Projetar para o uso de ferramentas simples e convencionais durante a montagem.
-

A aplicação dessas recomendações pode variar conforme a situação, já que são recomendações gerais, e não será difícil encontrar casos em que algumas das recomendações apresentadas não possam ser utilizadas. Isto destaca a importância da criatividade, do talento e da experiência, ou seja, do fator humano, que é insubstituível em tarefas desta natureza.

Convém destacar que as recomendações descritas na Tabela 1.1 abrangem apenas o projeto das peças para facilitar a montagem, não entrando no mérito do projeto do processo e do sequenciamento de montagem. As bibliografias [Andr88], [Back96b], [Boot92], [Hand92a], [Hand92b], [Holb88], [Jans91], [Mall94], e [Paup96] fornecem informações mais detalhadas sobre este assunto.

1.4 – PROPOSTA DE TRABALHO

O processo de manufatura de uma fábrica, num sentido amplo, é a soma dos processos separados envolvidos na conversão de matérias-primas ou produtos semi-acabados em produtos finais. Com relação à fábrica, seus produtos podem ser as matérias-primas, as peças acabadas ou produtos finais. As matérias-primas ou produtos semi-acabados usados na manufatura de produtos são frequentemente produzidos e fornecidos por outras fábricas. Algumas vezes os produtos da fábrica ainda necessitam sofrer outros processos antes de tornarem-se produtos finais [Ferr96].

Os processos podem atuar diretamente sobre as peças, alterando a forma, dimensões e propriedades das matérias-primas ou produtos semi-acabados, ou então efetuar a montagem das peças nos produtos finais. É especificamente desta segunda etapa que vamos tratar nesta dissertação, onde a integração de outros processos é apenas citada.

Sabe-se que os processos de manufatura utilizados na conversão de matéria-prima em peças acabadas encontram-se com um bom nível de desenvolvimento, mas a montagem ainda é tida como um processo que depende mais da experiência dos especialistas do que da tecnologia empregada. Os mais experientes nesta área realizam o PSM de uma forma intuitiva, dificultando o aprendizado dos demais.

O objetivo desta dissertação é a proposição de uma sistemática para a realização do planejamento da seqüência de montagem (PSM), que envolva todas as atividades relacionadas a este estudo. Estas atividades vão desde o estabelecimento das informações iniciais, normalmente realizado pela diretoria da empresa, até a implementação final do processo de montagem. Os aspectos relativos ao projeto do produto e do sistema de montagem são apenas mencionados, de maneira a demonstrar o seu relacionamento com o PSM.

O PSM é um estudo que visa determinar a melhor forma de se montar um produto, de acordo com os objetivos estratégicos estabelecidos pela empresa para o produto em questão. Isto significa que deve-se procurar atender aos objetivos de qualidade e volume de produção com o menor custo possível e dentro do prazo estabelecido.

Apesar de não ter-se conhecimento da realização de um trabalho desta natureza no Brasil, sabe-se que este assunto já foi tema de diversas teses de doutorado no exterior, através das quais foram desenvolvidos métodos para a geração da seqüência de montagem. Sendo assim, o que pretende-se realizar é um estudo e levantamento destes métodos, enfocando suas potencialidades e deficiências; assim como a proposição de recomendações práticas para a realização do PSM.

Os trabalhos consultados durante o estudo do estado da arte não abrangem o PSM de uma forma completa, clara e organizada. Além disto, os mesmos são teóricos e não apresentam uma sistemática que trate o problema de uma forma adaptada a realidade industrial de nossas empresas. A sistemática apresentada no capítulo 5 visa suprir estas deficiências e promover a integração do PSM com o processo de projeto do produto. Esta integração é importantíssima, já que o PSM é essencialmente regido pela estrutura do produto.

A sistemática proposta para o PSM é validada através da realização de um estudo de caso em uma das linhas de montagem da montadora Renault do Brasil S.A.. Mesmo tratando-se de um produto já existente, onde não foi possível participar do processo de projeto, conseguiu-se obter resultados bastante satisfatórios e que comprovam o potencial da mesma.

1.5 – JUSTIFICATIVAS

Primeiramente, considera-se importante responder à seguinte pergunta:

“O que leva as pessoas a comprarem um produto em preferência a outros?”

Algumas dessas razões encontram-se descritas na Tabela 1.2. Através da análise da mesma pode-se concluir que as pessoas compram um produto porque acham que ele possui mais vantagens do que outros. Outro ponto de vista é que a maior parte das razões que tornam um produto aparentemente mais popular ou melhor do que outros, são fatores que aparecem durante as várias etapas do processo de projeto, e que devem ser preferencialmente considerados na fase de projeto conceitual [Pugh90].

Tabela 1.2 – Razões pelas quais as pessoas compram um produto [Pugh90]

☛ Confiabilidade	☛ Disponibilidade
☛ Qualidade	☛ Prazo de Entrega
☛ Segurança	☛ Conformidade com as Normas
☛ Durabilidade	☛ Familiaridade de Uso
☛ Manutenibilidade	☛ Tamanho
☛ Facilidade de Uso (aspectos ergonômicos)	☛ Embalagem
☛ Reputação da Empresa	☛ Poluição
☛ Desempenho (econômico, silencioso, etc.)	☛ Robustez às Condições Ambientais
☛ Fatores Estéticos/Moda	☛ Vida Útil
☛ Acabamento	☛ Facilidade de Instalação
☛ Valor Agregado	☛ Conforto
Status	Assistência Técnica
Política de Crédito	Legislação
☛ Características de Projeto	

Dentre esses fatores, a aplicação do DFA contribui para a melhoria da confiabilidade, qualidade, **segurança, manutenibilidade, custo** (não explicitamente citado, mas incluso em outras características), **prazo de entrega**, reputação da empresa, acabamento, tamanho e **facilidade de instalação**.

Levando-se em conta que o DFA ainda oferece vantagens com relação à manufatura, tem-se em mão uma poderosa filosofia de projeto que se corretamente aplicada e explorada, trará uma série de benefícios a quem aplicá-la. O PSM, por sua vez, influi de alguma maneira nas cinco características que encontram-se em negrito. Considerando-se que o custo, prazo de entrega e segurança, normalmente são fatores decisivos para a maior parte dos consumidores, pode-se afirmar que este estudo é relevante para a competitividade de um produto.

Observando o gráfico das Figuras 1.4 e 1.5, constata-se que a montagem é responsável por uma pequena parcela dos custos de produção. Então pode surgir a seguinte pergunta: por que desprender tanto esforço no estudo do DFA? Porque ao estudar e melhorar cada peça, não se está afetando somente a peça, e sim o componente dominante dos custos de manufatura: o custo "overhead". Ao minimizar o número de peças, através da eliminação de detalhes desnecessários e padronização de elementos, diversas peças não precisarão ser projetadas, usinadas, montadas, inspecionadas, armazenadas e movimentadas, afetando drasticamente o custo "overhead". Esta é a verdadeira redução de custos proporcionada pela aplicação do DFA, em adição às melhorias no processo de montagem [Hand92b].

Para se atingir os benefícios descritos anteriormente, é essencial que se realize um bom planejamento da seqüência de montagem, pois de nada adiantará minimizar o número de peças, e ao final de um projeto constatar-se que o produto é de difícil montabilidade. Esse planejamento ainda é importante, porque através do mesmo pode-se determinar ou introduzir melhorias no processo de manufatura e no leiaute dos setores envolvidos. Além disso, pode-se realizar estudos de movimentação de materiais e disponibilização de rotas alternativas de fabricação.

Ullman [Ullm92] também destaca a importância de se considerar a eficiência da seqüência de montagem durante o projeto, já que a menor modificação no projeto do produto pode alterar as possíveis seqüências disponíveis para a escolha.

Custos de Manufatura (Custo Overhead Excluído)

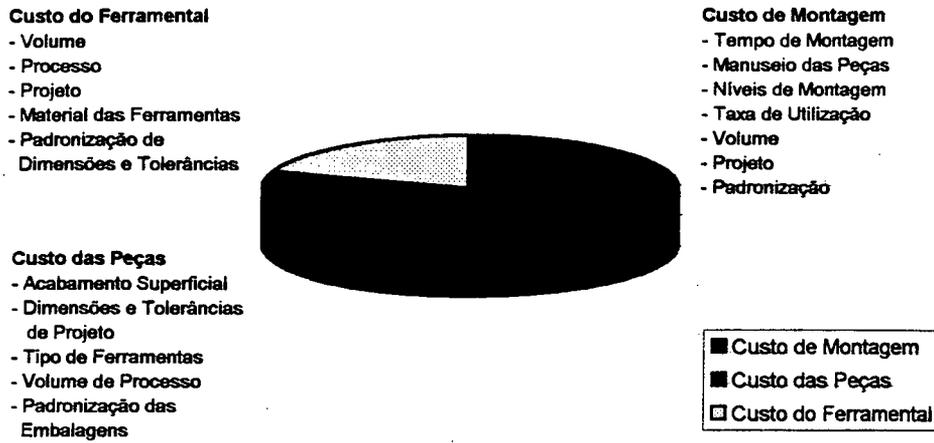


Figura 1.4 - Custos de manufatura (excluído o custo "overhead"). Os fatores que afetam o custo relativo de cada componente são listados. Note que o projeto afeta todos os três (adaptação da Figura 8.4 de [Hand92b]).

Custos de Manufatura (Incluído Custo Overhead)

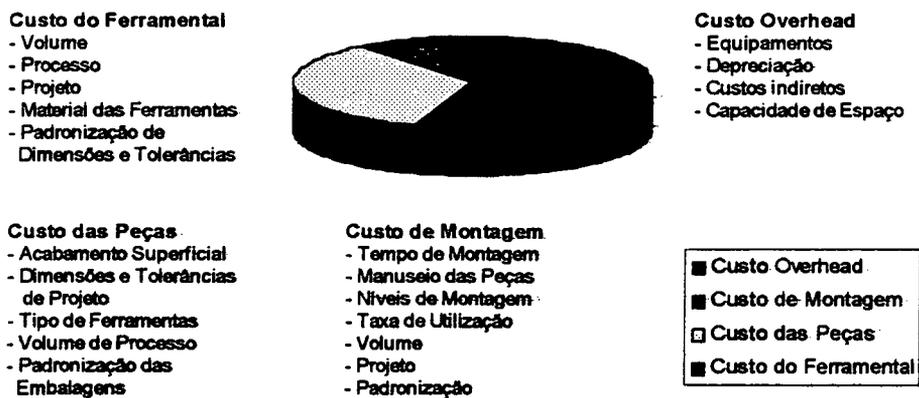


Figura 1.5 - Custos de manufatura - incluído o custo "overhead" (adaptação da Figura 8.5 de [Hand92b]).

A título de exemplo, pode-se citar o caso da Husqvarna Sewing Machines AB, empresa do grupo Electrolux, que conseguiu uma redução de 30% no número de peças e no tempo total de montagem de suas máquinas de costura, através de um reprojeto baseado nos princípios do DFA. Foi dada ênfase na análise da estrutura do produto e no planejamento da seqüência de montagem. Diversos planos de montagem foram avaliados, no sentido de melhorar o processo de manufatura e fornecer melhores condições de trabalho ao pessoal da montagem, contribuindo assim para o aumento da produtividade [Jans91].

Segundo Côrrea [Côr96], existem cinco prioridades que as empresas devem seguir para manterem-se competitivas no mercado atual. A Tabela 1.3 relaciona algumas contribuições obtidas através da realização do PSM para cada uma das prioridades competitivas apresentadas.

Tabela 1.3 – Contribuições do PSM com relação as prioridades competitivas

Prioridades Competitivas	Contribuições Obtidas com o Planejamento da Seqüência de Montagem										
	Redução número modificações projeto relativas a prob. mont.	Segurança	Mantenabilidade	Custo	Prazo de Entrega	Facilidades Instalação	Projeto simultâneo do produto e sistema de montagem	Estudos de movimentação de materiais	Flexibilidade no roteamento da montagem	Utilização da seqüência ótima de montagem	
Fazer os produtos gastando menos que os concorrentes, obtendo vantagem em custos.	X			X			X	X	X	X	
Fazer os produtos melhores que os concorrentes, obtendo vantagem em qualidade.		X	X	X	X	X					
Fazer os produtos mais rápido que os concorrentes, obtendo vantagem em velocidade de entrega.	X				X		X	X	X	X	
Entregar os produtos no prazo prometido, obtendo vantagem em confiabilidade de entrega.					X			X	X		
Ser capaz de mudar muito e rápido o que se está fazendo, obtendo vantagem em flexibilidade.	X							X	X		

O estudo do PSM leva à investigação de todas as seqüências de montagem possíveis para um produto. As alternativas de seqüência resultam em diferentes tempos, métodos de montagem e leiautes para a fábrica. Isto possibilita um maior espaço de soluções possíveis, de maneira que possa ser escolhida a seqüência que melhor se adapte as características existentes. Convém lembrar que não existe uma solução única para a montagem de um produto, e que deve-se levar em consideração o meio-ambiente no qual o mesmo encontra-se (sistema de montagem existente, logística, volume de produção requerido, entre outros).

1.6 – ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Este trabalho é composto de quatro etapas principais, conforme ilustrado na Figura 1.6. A primeira etapa da dissertação procura formar o contexto sobre o qual se desenvolverá o trabalho. O capítulo 1 destaca a importância da montagem dentro do processo de desenvolvimento de produto e de manufatura, introduz o tema de projeto para a montagem, além de apresentar as propostas e justificativas da pesquisa.

O capítulo 2 apresenta os fundamentos gerais do processo de montagem, e as definições básicas sobre os diversos tipos de sistemas de montagem existentes e sua estruturação básica.

A segunda etapa trata do planejamento da seqüência de montagem – PSM, provendo uma base sobre o tema, explicando e apresentando alguns métodos conhecidos. O capítulo 3 trata da estrutura do produto, de algumas formas de se descrever um produto e de como representar as seqüências de montagem; pontos importantes para realizar-se o PSM (planejamento da seqüência de montagem), tema principal do capítulo.

O capítulo 4 busca ilustrar o estado da arte do PSM. Realizou-se um agrupamento dos trabalhos consultados em quatro abordagens principais, onde dentro de cada um deles apresenta-se a idéia geral, um exemplo e conclusões. Ele ainda ressalta a importância de se desenvolver uma sistemática para a análise do processo de montagem, que seja adaptada a nossa realidade industrial.

A terceira etapa apresenta o resultado do estudo realizado. O capítulo 5 descreve a sistemática proposta para o desenvolvimento do PSM, enquanto que o capítulo 6 expõe a aplicação da mesma no estudo de caso feito na linha de montagem da Renault do Brasil S.A..

Na quarta e última etapa são apresentadas as conclusões e proposições para trabalhos futuros.

Etapa I		{ Capítulo 1 - Introdução Capítulo 2 - Montagem - Conceitos Básicos
Etapa II		{ Capítulo 3 - Planejamento da Seqüência de Montagem Capítulo 4 - Estado da Arte do PSM
Etapa III		{ Capítulo 5 - Sistemática Proposta para o PSM Capítulo 6 - Estudo de Caso
Etapa IV		{ Capítulo 7 - Conclusões

Figura1.6 – Estrutura da dissertação.

CAPÍTULO 2

MONTAGEM - CONCEITOS BÁSICOS

2.1 – INTRODUÇÃO

Este capítulo traz conceitos sobre montagem e sistemas de montagem. Eles são básicos, porém importantes para o correto entendimento dos capítulos futuros.

Na primeira parte são explorados temas como classificação da montagem, necessidade de se realizar uma montagem e operações de montagem. Já na segunda parte procura-se definir e demonstrar as configurações básicas dos sistemas de montagem, além de expor um importante assunto: o balanceamento de sistemas de montagem.

2.2 – MONTAGEM

Conforme o dicionário Aurélio, montagem é a “operação de reunir as peças de um dispositivo, um mecanismo, ou qualquer objeto complexo, de modo que possa funcionar ou preencher o fim a que se destina” [Ferr86]. O objetivo desta seção é conceituar e estabelecer uma visão geral sobre a montagem.

Ela pode estar presente em diversas etapas do processo produtivo, sob a forma de submontagens, ou até mesmo após a entrega do produto ao cliente final (instalação e/ou manutenção). Entretanto, na maioria dos casos, a montagem pode ser encarada como o desfecho do processo de fabricação.

Nesta pesquisa será dada ênfase ao campo da tecnologia mecânica, mas convém lembrar que o conceito de montagem não está restrito ao campo da mecânica. As indústrias têxtil, eletrônica, moveleira e alimentícia, também possuem processos que podem ser classificados como montagem.

Hoje em dia, nas empresas brasileiras, grande parte do trabalho de montagem ainda é realizado manualmente. Isto se deve, principalmente, aos elevados

custos para automatização, frente ao baixo valor pago pela mão-de-obra, e a projetos falhos com relação ao aspecto da montagem. Sabe-se que a tendência é a elevação dos salários, e por isso, para baixar os custos com a montagem, é de suma importância a realização de projetos ótimos do ponto de vista da montagem.

As montagens mecânicas podem ser constituídas por apenas duas peças (ex.: saleiro) ou milhares (ex.: automóvel). Estas podem ser pequenas, como as engrenagens de um relógio ou grandes, como as de um caminhão. Podem utilizar materiais como metal, madeira, borracha, papel, plástico, cerâmica ou uma combinação destes materiais. Quase todos os produtos domésticos e comerciais são de alguma maneira montagens mecânicas, em maior ou menor grau. Se a embalagem de um produto for considerada, são raros os casos que não possuem ao menos uma operação de montagem em seu processo de manufatura [Bral86].

2.2.1 – CLASSIFICAÇÃO DA MONTAGEM

Quanto ao tamanho e distribuição da produção, a montagem pode ser classificada como [Andr88]:

- Montagem Única ou Limitada: 1 a 5 exemplares por ano. Exemplos: moldes para fabricação, protótipos, navios;
- Montagem Seriada: montagem não contínua de mais de cinco exemplares por ano. Exemplos: motores elétricos de grande porte, máquinas-ferramenta, ferramentas especiais;
- Montagem Contínua: montagem de um produto e suas eventuais variantes ao longo do ano. Exemplos: carros, geladeiras, computadores.

2.3 – POR QUE MONTAR?

A necessidade de montar um produto talvez não seja perfeitamente compreensível à primeira vista. Aos olhos do leigo simplesmente “parece” que deve ser assim já que “praticamente todos os produtos passam por uma etapa de montagem” e que “se montar não fosse tão natural, os produtos industriais seriam produzidos em uma só peça” [Oliv90].

Na realidade, existe uma série de razões através das quais a montagem se faz necessária. A principal delas é que todo produto visa atender a uma ou mais funções, que para serem integralmente desempenhadas, muitas vezes, requerem montagem. De uma maneira geral somente os produtos extremamente simples, como folhas de papel, copos de plástico, entre outros; não necessitam de montagem.

Outro fator predominante é o custo de fabricação. Dependendo da complexidade da peça ou produto, é, economicamente vantajosa a divisão em duas ou mais peças de mais fácil fabricação. Neste caso a necessidade ou não da montagem (e o número de subdivisões), só pode ser determinada após uma detalhada análise do processo de montagem e demais processos de fabricação envolvidos.

A montagem geralmente se faz necessária quando existe a presença de um ou mais dos fatores listados a seguir ([Andr88] e [Oliv90]). A Figura 2.1 exemplifica alguns deles.

1. Graus de Liberdade (movimento): vários elementos devem possuir mobilidade para exercer a sua função;
2. Diferenciação de Materiais: a realização da função depende das características de determinado material;
3. Considerações de Manufatura: algumas peças são mais fáceis e baratas de fabricar, se forem subdivididas em duas ou mais peças;
4. Considerações de Instalação: o produto pode requerer alguns tipos de montagens, durante a instalação, que só poderão ser realizadas no local de uso. As operações de manutenção também se enquadram neste item;
5. Diferenciação de Funções: uma função pode ser obtida através de um simples agente ou da combinação de vários na forma de mais elementos;
6. Condições Funcionais Particulares: elementos que necessitam de tarefas do tipo de inspeção, limpeza e acessibilidade; podem possuir divisões para facilitar a execução das mesmas;
7. Considerações de Projeto: requisitos estéticos podem causar a divisão da forma, solicitando uma montagem;

8. Considerações de Transporte: um produto pode ser desmembrado em partes para facilitar ou mesmo possibilitar seu transporte. É o caso de grandes equipamentos e sistemas que, após fabricados, deverão ser montados para que possam funcionar. Produtos frágeis, para maior proteção no transporte, também podem ser embalados semidesmontados.

Observando-se o limpador de pára-brisa de um veículo, Figura 2.1, é fácil identificar alguns dos fatores acima listados.

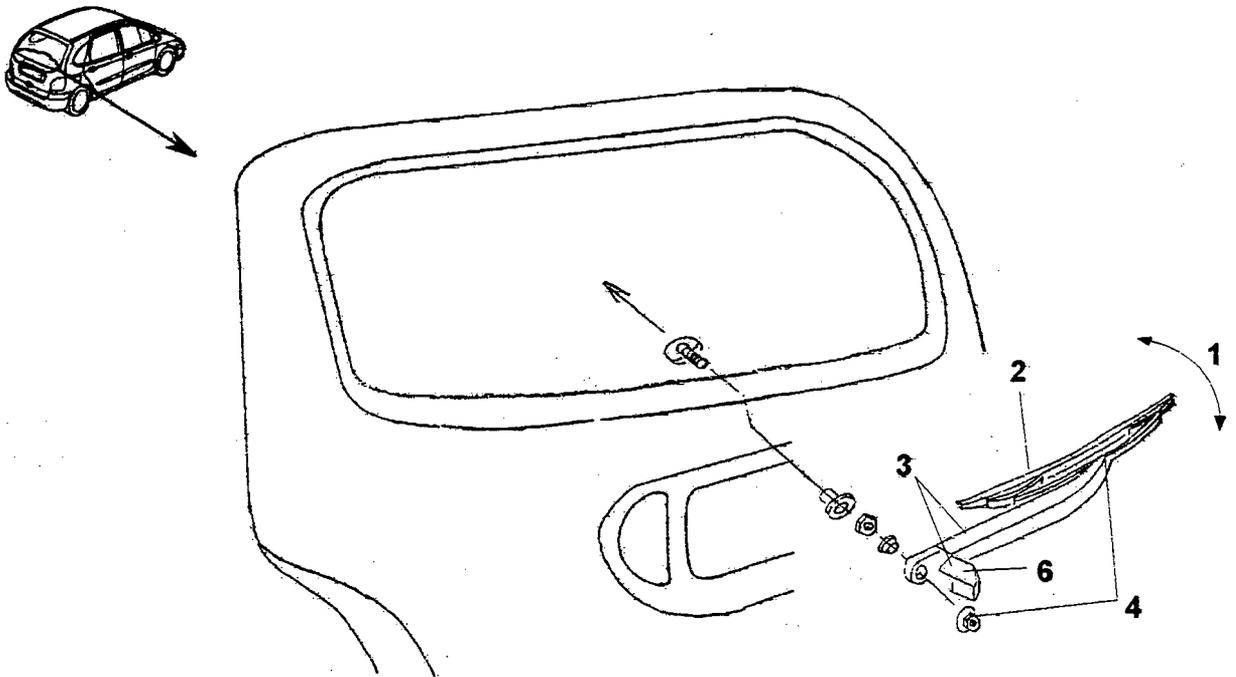


Figura 2.1 - Situações onde a montagem se faz necessária.

2.4 – O PROCESSO DE MONTAGEM

O processo de montagem não pode ser facilmente definido, principalmente porque cada tentativa de generalização das operações é dificultada com diversas exceções. A relação entre produto, processo de montagem e sistema de montagem é forte. Muitas conexões entre as peças requerem adaptações às operações e equipamentos de montagem, sendo que a definição destes itens é em grande parte definida durante a etapa de projeto do produto. Nesta seção, um esforço é feito no sentido de explicitar os fundamentos gerais de um processo de montagem.

2.4.1 – DIVISÃO DO PROCESSO DE MONTAGEM

A montagem de um produto é resultado de diversas etapas, onde em cada uma delas são realizadas operações de montagem em uma ordem pré-definida. É importante realizar uma diferenciação entre estas etapas e a montagem final, para os casos onde esta montagem final leva a variações no produto. Os dois conceitos podem ser definidos como [Andr88]:

Submontagem: operação individual de montagem onde um componente é montado com outro, em um componente base ou com um bloco de construção.

Montagem Final: descreve a construção de um produto acabado ou blocos de construção.

É comum integrar o processo de montagem com outros processos tais como: produção de componentes, teste, tratamentos superficiais, pintura, classificação, empacotamento, entre outros (Figura 2.2). Isto deve-se principalmente a vantagens de projeto e facilidades de manufatura.

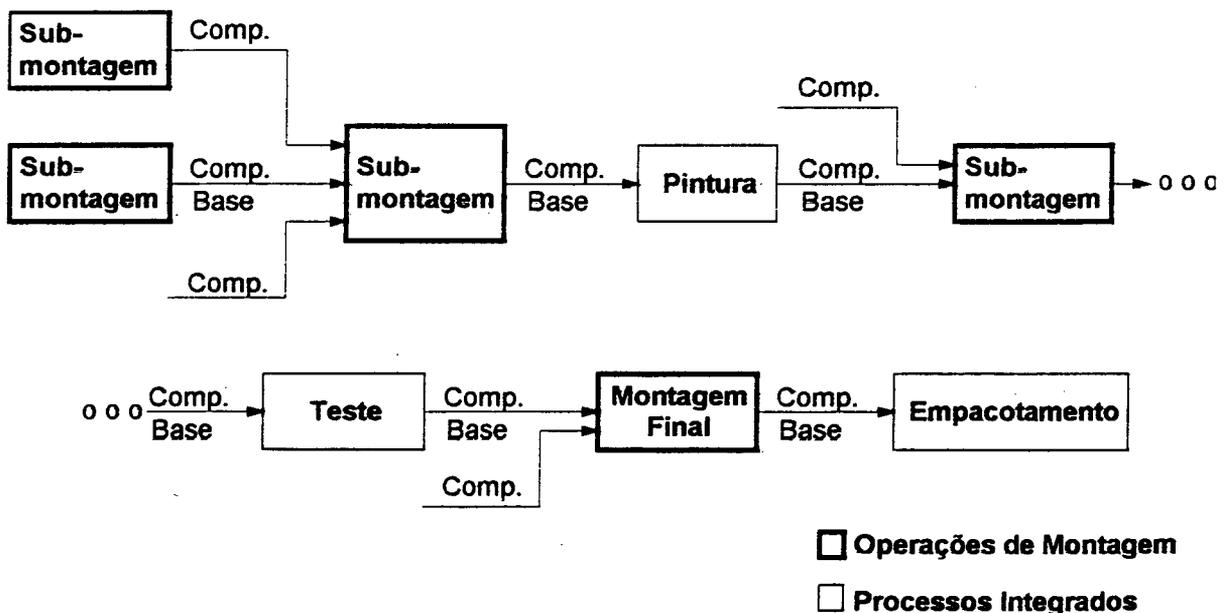


Figura 2.2 - Modelo generalizado do processo de montagem, incluindo alguns processos integrados (Adaptação das Figuras 3.5 e 3.6 de [Andr88]).

2.4.2 – OPERAÇÕES DE MONTAGEM

O processo de montagem envolve o posicionamento e a união de uma ou mais peças. Muitas vezes, utilizam-se certos dispositivos para manipular as peças convenientemente ou para posicionar, precisamente, uma peça com relação a outra.

O processo de montagem pode ser dividido em três operações básicas: manipulação, composição e conferência, conforme ilustrado na Figura 2.3. Cada uma delas pode ainda ser composta de uma série de outras operações, dentre as quais destacam-se armazenamento, transporte e posicionamento (vide Figura 2.4) [Andr88]. Qualquer operação realizada durante a montagem será constituída de uma ou mais destas três operações básicas, ou de outras provenientes de processos integrados.

Andreasen et al [Andr88] definem estas operações da seguinte maneira:

- **manipulação**: é a função de colocar dois ou mais objetos em uma determinada posição. Constitui-se dos processos de seleção e preparação dos componentes para a composição ou conferência, e transporte para os sistemas de produção, montagem ou embalagem, subsequentes.
- **composição**: é a função que assegura este posicionamento, mesmo sob efeitos externos. O seu objetivo é criar uma conexão, relativamente permanente, entre os componentes. Abrange os métodos de união que podem ser classificados por meio de:
 - forma: suportes, embutimentos, encaixes;
 - força: com o auxílio de atrito ou campo de força (inércia, magnetismo);
 - material: colagem, soldagem.
- **conferência**: é a função que verifica a qualidade do produto final e se as funções anteriores foram executadas segundo as especificações. Processo que confere a presença e posição dos componentes, em adição à qualidade do produto final. Pode-se ainda incluir manipulação e operações especiais de conferência (medição, comparação e rejeição). Se operações adicionais de manipulação e composição são requeridas após a conferência, pode-se falar em ajustagem.

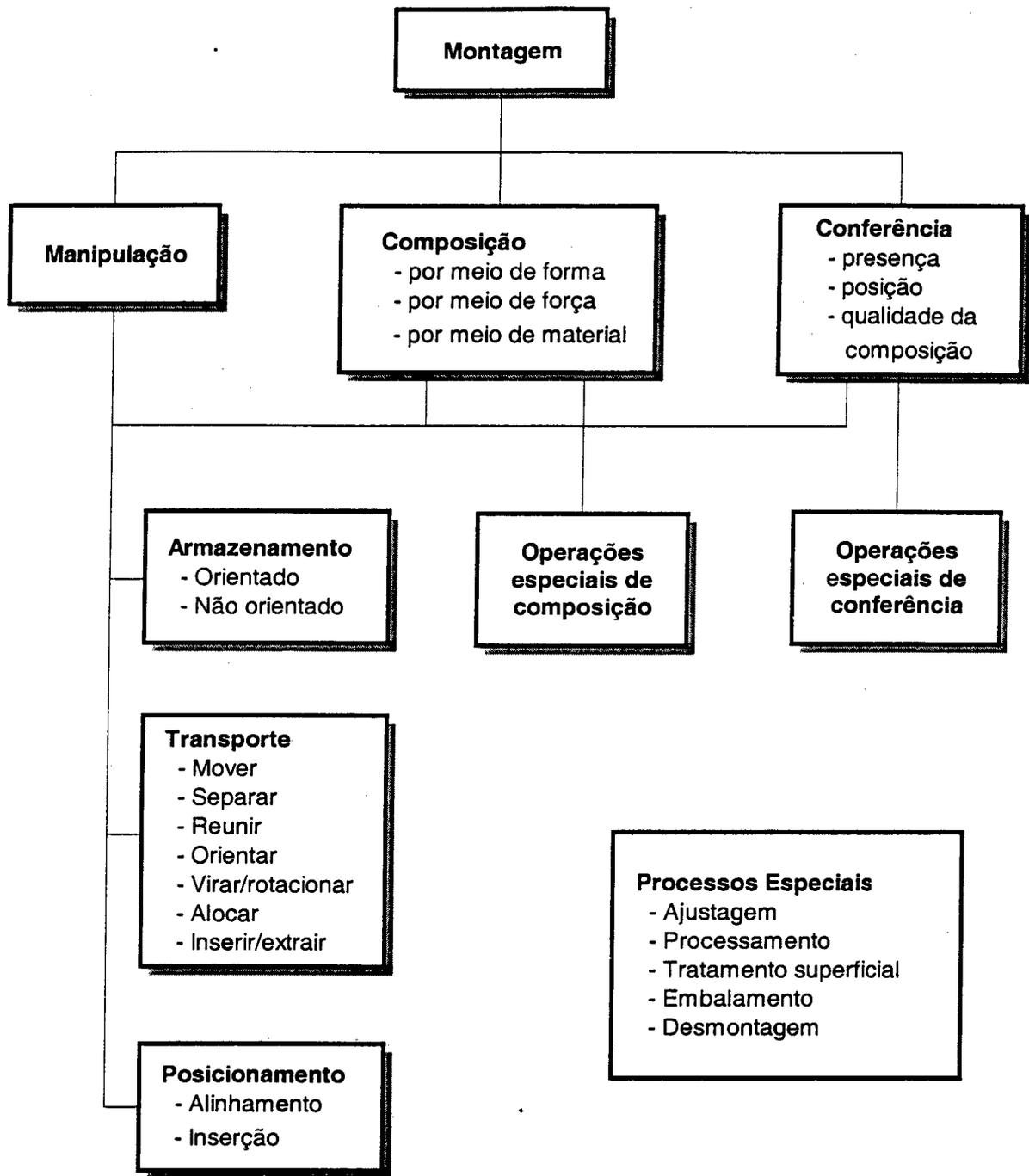


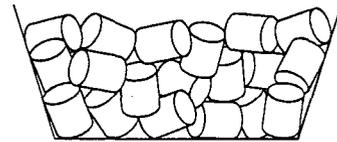
Figura 2.3 - Um processo de montagem é constituído das operações de manipulação, composição e conferência, assim como por processos especiais, caso requeridos. Estes processos podem ainda ser subdivididos em armazenamento, transporte e posicionamento, além de operações especiais conectadas a composição e conferência [Andr88].

MANIPULAÇÃO

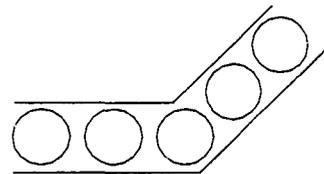
ARMAZENAMENTO

Processo dirigido pelo tempo, no qual os componentes são armazenados antes ou após a sua utilização.

Não Orientado



Orientado

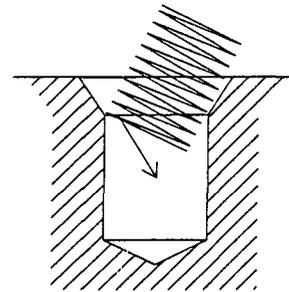


POSICIONAMENTO

Processo que compreende a orientação e o alinhamento de um componente em relação a outro.

Alinhamento

Posicionamento de um componente em uma ou mais direções axiais, em relação ao componente base.



Inserção

Reposicionamento do componente em relação ao componente base, resultando na posição final.

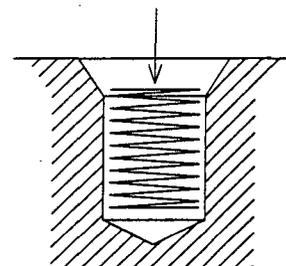


Figura 2.4 – Descrição das diversas operações constituintes da operação básica manipulação [Andr88].

MANIPULAÇÃO**TRANSPORTE**

Processo que objetiva mover e orientar os componentes de acordo com as exigências dos processos de composição e conferência.

Mover

Reposicionamento constante ou indexado dentro do sistema de montagem.

Separar

Divisão de um fluxo simples de componentes em dois ou mais fluxos.

Reunir

Reunião de dois ou mais fluxos de componentes.

Orientar

Orientação do fluxo de componentes em relação ao sistema.

Virar/Rotacionar

Orientação dos componentes dentro de um fluxo em relação ao sistema.

Alocar

Liberação de determinado número de componentes de um fluxo para o sistema.

Inserir/Extrair

Posicionamento do componente em uma ferramenta; remoção do componente.

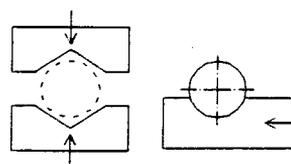
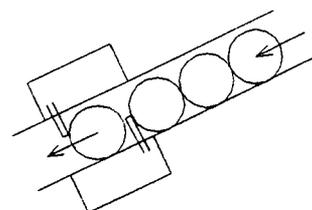
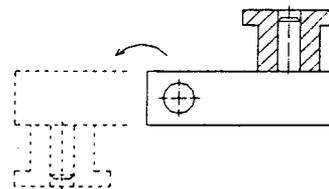
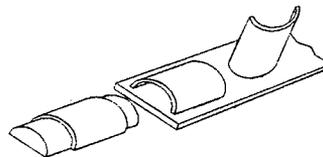
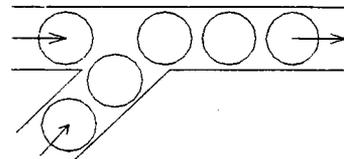
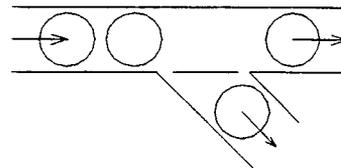
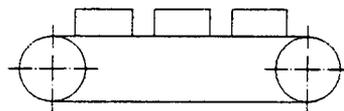


Figura 2.4 – Continuação.

Outra abordagem para descrição das operações de montagem é apresentada por Baartman [Baar95]. Nesta, a montagem é dividida em dois tipos de operações:

- Operações Primárias: diretamente agregam valor ao produto, em particular o manuseio e a conexão das partes.
- Operações Secundárias: devem ser executadas para que as operações primárias possam ser desempenhadas. Ex.: armazenamento e transporte das peças e blocos de construção.

As operações primárias básicas para montar uma peça são descritas abaixo [Baar95]:

- Alimentar Montagem Fixa: uma submontagem ou bloco é transportado para dentro da estação de trabalho;
- Alimentar Peça: a peça é transportada para dentro da estação de trabalho;
- Teste do Estado Inicial: a identificação e localização da peça e montagem deve ser conhecida antes que a peça seja conectada a montagem. Isto freqüentemente requer medições ou ajustes das localizações;
- Agarrar Peça: a peça é temporariamente conectada a uma ferramenta que auxilia a manipulá-la;
- Mover Peça: a peça é movida da localização inicial para o ponto final na montagem. Distinguem-se dois movimentos:
 - Movimento Grosseiro: a localização da peça é modificada, sem a introdução de contato com seu ambiente;
 - Movimento Fino: a localização da peça é modificada, enquanto que durante o movimento, a peça pode estar em contato com seu ambiente;
- Conectar Peça: operações adicionais que são requeridas para se fazer a união. Algumas conexões somente requerem movimentos finos. Os termos conectar, montar, unir, encaixar e acomodar são usados como sinônimos. Eles descrevem o processo de fazer uma conexão;
- Soltar Peça: a conexão temporária entre a peça e a ferramenta é desfeita;
- Teste do Estado Final: algumas vezes é necessário realizar medições para garantir que a peça esteja corretamente conectada a montagem;

- ***Retirar Montagem***: a montagem fixa ou final é retirada da estação de trabalho.

Pode-se dizer que as operações secundárias estarão sempre presentes em uma montagem, mesmo que de uma maneira indireta. Um exemplo da importância destas operações, dá-se nas linhas de montagem de produtos de médio e grande porte (automóveis, refrigeradores, motores elétricos). Nelas os operadores são obrigados a realizar freqüentes deslocamentos para buscar as peças que serão montadas e levá-las até o local de montagem. Nesta pesquisa as operações de logística, como armazenamento e transporte interno das peças, não são consideradas secundárias.

2.5 – SISTEMAS DE MONTAGEM

Ao contrário do que possa parecer, a racionalização da montagem não deve ser apenas encarada do ponto de vista do produto. É de suma importância a adequação do produto ao sistema de montagem, pois de nada adianta projetar um bom produto do ponto de vista da montagem, mas que não seja adequado ao sistema ou equipamento no qual ele será montado.

Esta seção procura explicitar as definições básicas sobre os diversos tipos de sistemas de montagem existentes e sua estruturação básica.

2.5.1 – DEFINIÇÃO E TIPOS DE SISTEMAS DE MONTAGEM

O conceito de sistema de montagem engloba a mão-de-obra, ferramentas, máquinas e equipamentos. Sua tarefa é transformar peças e componentes em um produto. Um conceito atual de sistema de montagem o descreve como sendo um componente de um elemento integrado, especialmente em conexão com a área de processo, conforme ilustrado na Figura 2.5. Analisando esta figura, pode-se perceber que a determinação do melhor sistema de montagem depende de uma série de fatores como o produto, logística, estratégias da empresa e capital a ser empregado.

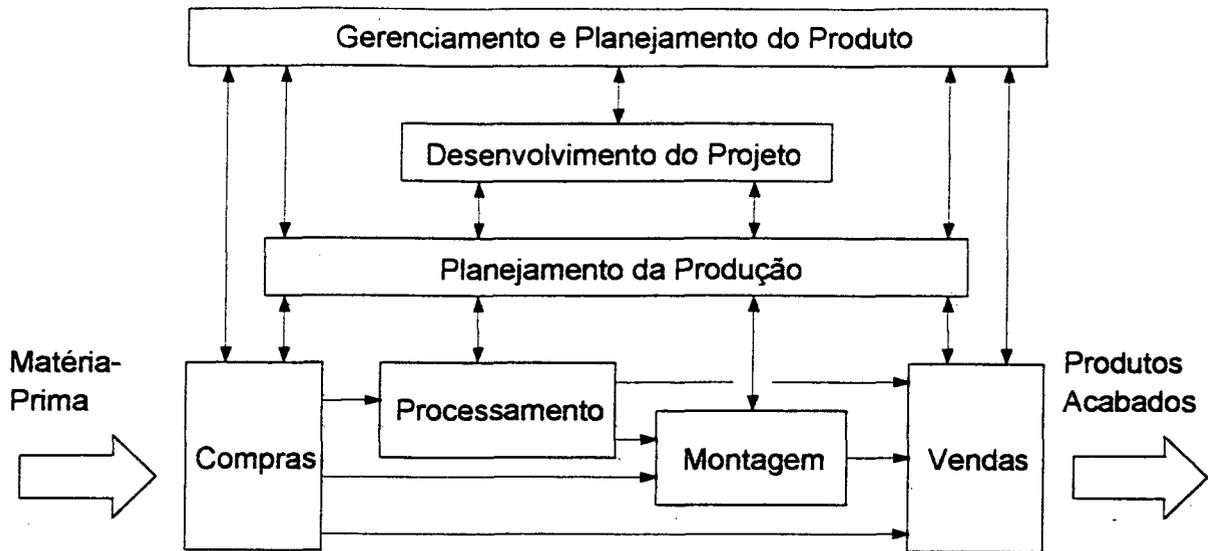


Figura 2.5 - Concepção do sistema de uma empresa, mostrando o relacionamento da montagem com outras funções [Andr88].

Andreasen [Andr88] definiu sistema de montagem como:

“O sistema de montagem é uma estrutura integrada de máquinas e operadores que executam a construção de subsistemas ou produtos acabados com características específicas, empregando componentes, ou se necessário, materiais disformes (cola, entre outros). Esta integração é atingida pela utilização de um processo onde as operações necessárias são integradas considerando-se material, energia e informação.”

Atualmente, nas indústrias, existe uma série de sistemas de montagem manuais, mecanizados e automatizados. Através desta divisão, pode-se classificar os diferentes tipos de sistemas de montagem quanto ao grau e tipo de mecanização, conforme descrito abaixo:

- **montagem manual:** executada por um operário que dispõe de equipamentos auxiliares simples e passivos, tais como mesas, fixadores e ferramentas manuais.
- **montagem mecanizada:** sistema de montagem composto por máquinas automáticas (geralmente dedicadas) e operadores, encarregados de executar certas operações, intercaladas ou não com as realizadas pelas máquinas.

- montagem automatizada: composta de um sistema de equipamentos que seguem um programa lógico preestabelecido; onde as decisões tomadas são baseadas neste programa, no estado do sistema e nas suas entradas.
- montagem flexível: quando o sistema de montagem permite variações de determinadas características do produto (geralmente em nível de componentes) através da modificação ou adaptação de algumas operações. A flexibilidade é uma característica que deve ser introduzida ao sistema, preferencialmente, durante o seu projeto. Ela também está relacionada à capacidade de adaptação do sistema a montagem de novas gerações de produtos. Baartman [Baar95] define cinco tipos de flexibilidade em sistemas de produção:
 - 1) Os componentes do sistema podem ser facilmente integrados em um novo sistema, e este pode ser facilmente programado para executar as novas atividades;
 - 2) O sistema rapidamente atinge as características de produção do projeto, após a sua primeira operação;
 - 3) O sistema é robusto (insensível) a variações de processo;
 - 4) O sistema pode ser facilmente modificado para a execução de uma nova atividade que tenha sido prevista em seu desenvolvimento, isto é, o tempo de troca é da ordem de segundos;
 - 5) O sistema pode ser facilmente modificado para a execução de novas atividades que não tenham sido previstas em seu desenvolvimento, isto é, o tempo de adaptação é da ordem de horas.

2.5.2 – BALANCEAMENTO DE SISTEMAS DE MONTAGEM

O balanceamento é uma das atividades mais importantes do gerenciamento de um sistema de montagem. O principal objetivo do balanceamento é alocar as atividades nas estações de trabalho, de maneira a homogeneizar os tempos de montagem entre as estações de trabalho. O ideal é que a taxa de utilização² de cada uma das estações de trabalho esteja próxima de 100%, e que não haja grande

² Taxa de utilização (TU): este termo refere-se ao quociente formado entre o tempo de ciclo da estação de trabalho (t_{ce}) e o tempo de ciclo do sistema (t_c):

$$TU = \frac{t_{ce}}{t_c}$$

diferença entre os valores das mesmas. Como regra geral um desbalanceamento aceitável encontra-se entre 5 e 15%, mas estes valores servem apenas de base e podem variar de acordo com o produto e sistema de montagem a ser empregado.

O balanceamento de sistemas de montagem passa pela determinação dos seguintes problemas:

- geração das seqüências de montagem;
- tempo padrão para cada operação ou elemento de trabalho;
- tempo de ciclo (baseado na produção esperada);
- número de estações de trabalho ou estágios;
- agrupamento das operações em uma mesma estação de trabalho.

A relevância do balanceamento está na otimização do tempo de montagem e na melhor utilização dos recursos disponíveis. O balanceamento geralmente é realizado com base nos dados de estimativas de vendas, de tal forma que em um período de tempo predeterminado, se possa atingir o volume de produção desejado com o melhor aproveitamento possível dos recursos. Além disto, o balanceamento também vem sendo utilizado como uma ferramenta de verificação do progresso contínuo.

O balanceamento possui uma forte ligação com o PSM, já que é um fator importante na etapa de escolha da seqüência de montagem a ser adotada. Pode-se dizer que se não houverem outros critérios (como a ergonomia, restrições de produto, geométricas e de processo), na quase totalidade dos casos, a seqüência de montagem escolhida será a que proporcionar o melhor balanceamento.

O problema mais básico é o da produção em massa de um único produto em um sistema de montagem. Entretanto, sabe-se que esta situação raramente ocorre, e o que geralmente encontra-se nas indústrias é a produção de pequenos lotes de diversos modelos ou famílias de produtos, em um mesmo sistema de montagem. Este problema é extremamente complexo e pode ser resolvido de diversas maneiras. Para sua completa resolução, além das informações acima explicitadas, pode ser necessário conhecer aspectos tecnológicos ou a estrutura do sistema de montagem (caso já exista um).

Como pode-se perceber, o ponto de partida para a resolução deste problema é a geração das seqüências de montagem e a escolha da(s) melhor(es), o que ressalta ainda mais a importância deste estudo. O capítulo 3 trata deste problema com maiores detalhes, e o capítulo 4 apresenta as três principais abordagens existentes para o planejamento da seqüência de montagem.

Os tempos padrão podem ser determinados através de cronoanálise, caso já exista pelo menos um protótipo do produto. Para produtos novos que ainda encontram-se na fase de projeto e estudos de tempos e movimentos, pode-se utilizar métodos especiais, como os baseados na decomposição dos movimentos do operador. Dentre eles podemos destacar: MTM (“method time measurement”), Work Factor, BMT (“basic motion timestudy”), DMT (“dimensional motion times”) e o MODAPTS (“modular arrangement of predetermined time standard”). O MTM é o mais conhecido deles, sendo que muitas empresas desenvolvem seus próprios métodos baseados nos acima descritos e no tipo de atividade desenvolvida.

O agrupamento das operações em uma mesma estação de trabalho objetiva minimizar o tempo de espera das estações de trabalho, ou seja homogeneizar ao máximo seus tempos de operação. Ele deve ser realizado respeitando-se as seqüências anteriormente determinadas e as possíveis limitações (como espaço disponível, recursos humanos e equipamentos). Uma abordagem que vem sendo atualmente utilizada, é deixar as últimas estações de trabalho menos sobrecarregadas para que possam realizar possíveis retoques ou operações de controle.

Hitomi [Hito79] propõe duas abordagens para auxiliar a resolução desses problemas:

- (a) Encontrar o número ótimo de estações de montagem para um determinado tempo de ciclo.
- (b) Minimizar o tempo total de espera ou tempo ocioso entre um número fixo de estações de trabalho.

O tempo de espera total pode ser expresso por:

$$D = \sum_k c - \sum_{I \in I_k} t_i = N.c - P \quad (2.1)$$

onde:

c = tempo de ciclo;

N = número de estações de trabalho;

t_i = tempo requerido para completar a operação i ($i = 1, 2, \dots, i$);

I = número de operações;

I_k = conjunto das operações relativas a estação de trabalho k ($k = 1, 2, \dots, k$);

$P = \sum_{i=1}^I t_i$ = soma dos tempos de todas as operações.

Primeiramente é necessário obter a solução dos problemas de balanceamento, de modo tal que o tempo para cada uma das operações seja igual ou inferior ao tempo de ciclo ($t_i \leq c, i = 1, 2, \dots, I$).

O menor número possível de estações de trabalho para um sistema de montagem é dado por:

$$K_{min} = \min \left\{ \text{inteiro } l \mid l \geq P/c \right\} \quad (2.2)$$

Quando isto é atingido, o sistema de montagem está com um balanceamento mínimo, sendo esta a solução ótima; mas em alguns casos práticos este balanceamento não é alcançado.

É necessário que o número de estações de trabalho nunca seja menor do que o número de operações que possuam um tempo maior do que a metade do tempo de ciclo. Consequentemente, o menor número possível de estações de trabalho é:

$$K_{pos} = \left\{ \text{número de } i \mid t_i > c/2 \right\} \quad (2.3)$$

Da mesma forma, o número operações que possuem tempos próximos ao tempo de ciclo é correspondente ao maior número possível de estações de trabalho para um sistema de montagem.

A partir disto, o número ótimo de estações de trabalho K^* deve estar entre:

$$\max (K_{min}, K_{pos}) \leq K^* \leq I \quad (2.4)$$

Hoje em dia existem programas, como o de Grewal e Tran [Grew97], que já realizam parte do balanceamento automaticamente. Nestes programas o especialista geralmente fornece os tempos das operações, as relações de precedência entre as mesmas e o tempo de ciclo (seção 2.5.4). Em alguns casos ainda pode-se trabalhar com variáveis como número de estações de trabalho desejado e o “mix” de produção.

As referências Chakravarty (1985) e Baybars (1986) apud Grewal e Tran [Grew97] e Chow [Chow90] apresentam algoritmos para a realização do balanceamento, no caso de um único produto ou para famílias de produtos.

2.5.3 – CONFIGURAÇÃO DOS SISTEMAS DE MONTAGEM

Com relação à configuração, os sistemas podem ser classificados como:

⇒ Sistemas de Montagem em Série

- O produto em montagem passa de uma estação de trabalho para a outra, e cada estação é responsável pela realização de uma ou mais operações;
- O tempo de ciclo (t_c) é a soma do tempo de transporte (t_T) entre duas estações de trabalho com o tempo da estação com maior taxa de utilização ou gargalo³ (t_{eg});

$$t_c = t_{eg} + t_T \quad (2.5)$$

- A probabilidade do sistema funcionar (D_{sist}) é o produto da probabilidade de cada estação (D_n) [Andr88];

$$D_{sist} = D_1 \times D_2 \times \dots \times D_n \quad (2.6)$$

- Já que um balanceamento perfeito é impossível, e portanto apenas uma meta que auxilia o melhoramento contínuo, na prática considera-se aceitável um desbalanceamento de 5 a 15 % entre as estações de trabalho;
- O fornecimento de material ao sistema é simplificado, já que as operações pouco variam e são realizadas nas mesmas estações de trabalho;

³ Estação gargalo: é a estação cuja(s) operação(ões) demanda(m) o maior tempo de ciclo.

- Nesta configuração o trabalho tende a ser monótono já que os operadores ficam “presos” aos postos de trabalho e realizam sempre as mesmas atividades em um pequeno intervalo de tempo;
- Quando não se dispõe de “buffers”⁴, a falha em qualquer ponto do sistema significa uma parada total. Em outras palavras, a utilização de “buffers” aumenta a confiabilidade do sistema. Apesar disto, a sua utilização aumenta a necessidade de capital de giro, custo de manutenção de estoques e velocidade de montagem.

⇒ **Sistemas de Montagem em Paralelo**

- As estações de trabalho são dispostas em paralelo e realizam as mesmas operações em diversos pontos do sistema;
- O tempo de ciclo é a soma do tempo de uma estação de trabalho com o tempo de transporte;
- A probabilidade do sistema funcionar (D_{sist}), é a probabilidade de todas as estações não trabalharem simultaneamente [Andr88];

$$D_{sist} = 1 - (1 - D_1)(1 - D_2) \dots (1 - D_n) \quad (2.7)$$

- O balanceamento é realizado com o objetivo de determinar o número de estações de trabalho paralelas, visando atingir o volume de produção requerido;
- O fornecimento de material ao sistema é dificultado, já que um ou mais componentes devem ser distribuídos em duas ou mais estações de trabalho;
- Menor índice de fadiga dos operadores que o anterior e maior flexibilidade no caso de faltas e ausências temporárias.

Estas duas classificações são básicas, e na maioria dos casos o que se utiliza é uma combinação destes conceitos sob a forma de outras categorias de sistemas de montagem, como as apresentadas a seguir.

⁴ Buffer: nada mais é do que um estoque intermediário, geralmente posicionado entre duas estações de trabalho.

⇒ Linhas de Montagem

Um sistema é classificado como uma linha de montagem quando cada estação de trabalho recebe as atividades na mesma seqüência e executam operações idênticas em todas as peças. As linhas de montagem dedicadas são as mais simples da categoria e são úteis para atingir um baixo custo de montagem, quando se trata de grandes volumes de produção com baixa variabilidade.

As linhas de montagem possuem flexibilidade relativamente baixa, porque, mesmo que a omissão de operações seja possível, não existe flexibilidade no direcionamento do material em processo. As estações de trabalho são geralmente conectadas por transportadores de correias ou taliscas, que liberam a montagem para a estação subsequente somente quando ela está pronta para recebê-la (isto se a linha não for contínua). Um novo trabalho de montagem só pode entrar no sistema quando a primeira estação estiver vazia, veja a Figura 2.6.



Figura 2.6 - Leiaute conceitual de uma linha de montagem em série.

Nos casos onde as estações de trabalho puderem ser adaptadas para desempenhar as operações em diferentes tipos de produtos (usualmente dentro de uma mesma família de produtos), a linha de montagem é chamada de não dedicada. Nestas linhas um controle adicional no fornecimento de material faz-se necessário. A maior dificuldade apresentada na sua operação é encontrar uma seqüência de montagem comum, que efetivamente utilize cada estação de trabalho sem causar sobrecarga em algum ponto.

As linhas de montagem flexíveis são um desenvolvimento mais recente. Cada estação de trabalho possui equipamentos de montagem que são idênticos em termos de capacidade e velocidade, e que podem desempenhar uma série de operações em vários produtos. Estas estações são conectadas por um sistema de transporte/manuseio não síncrono, que permite um certo grau de flexibilidade no roteamento entre os equipamentos de montagem em cada estação.

O balanceamento de cada estação de trabalho é um requisito deste tipo de linha de montagem. Ela só pode liberar o trabalho de montagem se o próximo “buffer” possuir uma posição livre ou a montagem puder ser realizada. A Figura 2.7 traz o leiaute conceitual de uma linha de montagem flexível. A lógica de controle necessária para este sequenciamento requer equipamento e gastos adicionais.

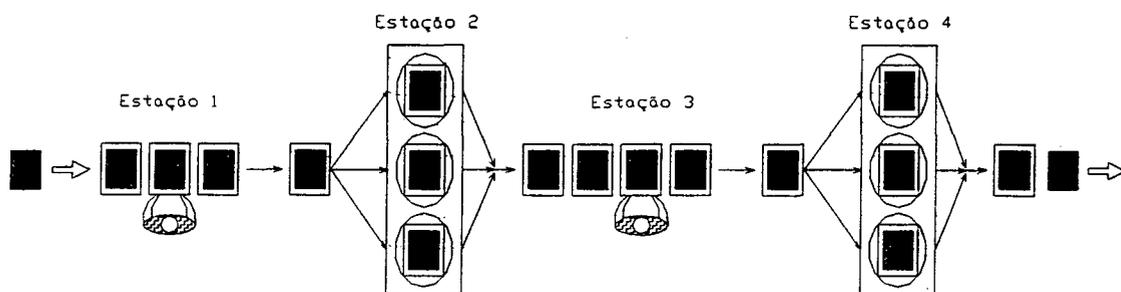


Figura 2.7 - Leiaute conceitual de uma linha de montagem flexível (Adaptação da Figura 2 de [Litt96]).

⇒ Células de Montagem Flexíveis

Na manufatura de pequenos e médios volumes, onde exista uma certa variabilidade no que tange a modelos ou famílias de produtos, uma certa semelhança no processamento pode ser identificada. Nestes casos pode-se construir células com determinados equipamentos ou estações de montagem, formando um leiaute de tecnologia de grupo (ver seção 3.1.1.1).

As células de montagem flexíveis compreendem um certo número de estações de montagem automatizadas, interconectadas por dispositivos de transporte/manuseio de materiais (isto no caso de células totalmente automatizadas). A flexibilidade do sistema está na sua capacidade de processar diferentes submontagens simultaneamente em diferentes estações de trabalho, até que sejam reunidas em algum estágio posterior para montagem. O tempo de troca entre operações é desprezível. Este tipo de célula de montagem é usada para médios volumes de produção e montagem de diversos tipos de produtos, cujo tamanho pode variar de pequeno a médio.

Existem vários tipos de configuração das células, cada qual com características de montagem diferentes. Algumas células possuem estações múltiplas que podem realizar operações de montagem em uma variedade de peças. Outras atuam de maneira similar às células de manufatura flexível⁵, onde a montagem é tratada como um processo multi-estágio, e as peças movem-se em uma rota pré-definida através das diferentes estações para o processamento (Vide Figura 2.8).

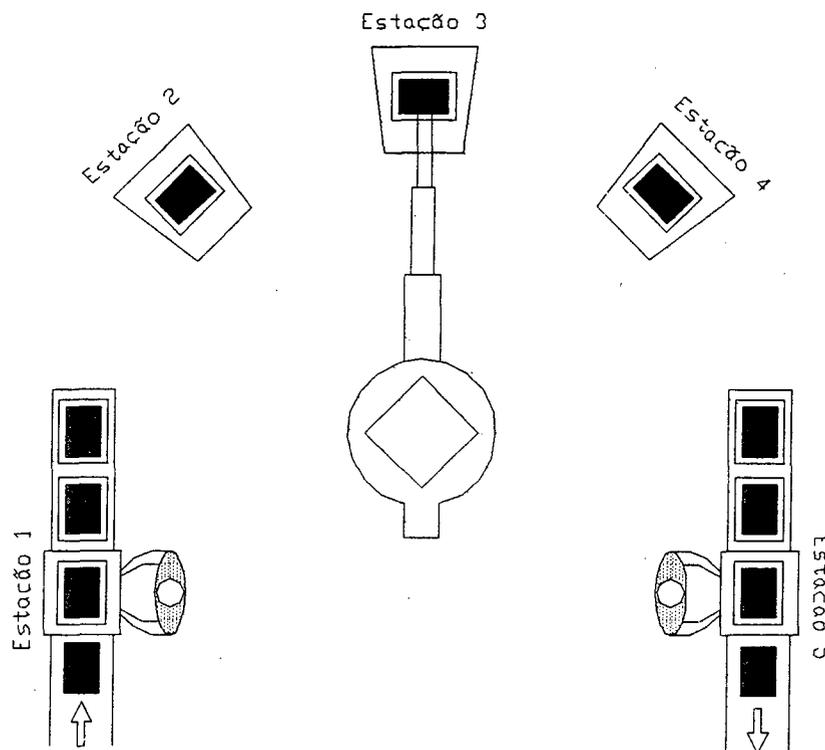


Figura 2.8 - Leiaute conceitual de uma célula de montagem flexível multi-estágio.

2.6 – Considerações Finais

Neste capítulo procurou-se conceituar e dar uma visão geral sobre o processo de montagem, abrangendo a sua definição, classificação e configuração dos sistemas de montagem. Também foram abordados temas como operações de montagem e balanceamento.

⁵ Células de Manufatura: é uma técnica para produzir diferentes tipos de peças num mesmo grupo de máquinas. O leiaute de células em "U" é usado, para obter os seguintes benefícios:

- Melhor comunicação, identificação e visualização dos problemas;
- Mínima distância entre os equipamentos;
- Corredores para uso comum, menor espaço necessário;
- Sem estoques intermediários;
- Funcionários polivalentes.

Pensando-se no PSM (planejamento da seqüência de montagem), a classificação da montagem em função do tamanho e distribuição da produção é muito importante para determinação do tipo de sistema de montagem a ser empregado.

Também foram introduzidas duas visões teóricas para o conceito de operações de montagem. Este assunto será discutido em seções posteriores e pode-se adiantar que um bom planejamento da seqüência de montagem, depende da correta escolha das operações.

A seção 2.5 explica e traz exemplos sobre algumas configurações básicas dos sistemas de montagem. Este é outro item que possui uma influência direta no planejamento da seqüência de montagem, pois do que adianta termos um produto com boa montabilidade, se ele não está adaptado ao sistema no qual será montado. Convém também destacar a importância do projeto simultâneo do produto e sistema de montagem (onde possível), o que traz uma série de benefícios como a redução de custos de projeto e fabricação. Esta integração pode ser obtida através de um estudo preliminar do PSM já nas primeiras etapas do processo de projeto do produto.

Na seção 2.5 ainda é exposto o conceito de balanceamento de sistemas de montagem. Este conceito é fundamental para o entendimento das seções posteriores, onde trataremos mais precisamente do PSM (planejamento da seqüência de montagem).

CAPÍTULO 3

PLANEJAMENTO DA SEQÜÊNCIA DE MONTAGEM

3.1 – INTRODUÇÃO

Para realizar o PSM é imperativo o conhecimento da estrutura do produto e do sistema de montagem a ser empregado. Na prática, existem três situações distintas a partir das quais o PSM é realizado:

- 1) A primeira delas é onde não se tem o produto nem o sistema de montagem. Neste caso, pode-se realizar o desenvolvimento conjunto do produto e do processo de montagem já na etapa de projeto conceitual. Em função desta integração, os melhores resultados são geralmente obtidos a partir desta situação;
- 2) A segunda é onde existe o produto ou o sistema de montagem. Este caso não possibilita tantas soluções quanto o primeiro, mas através de modificações no produto, no processo ou em ambos; bons resultados são alcançados;
- 3) A terceira situação é quando o produto e o sistema de montagem já existem. Nesta condição, o número de soluções possíveis é menor, e normalmente os resultados não são expressivos como os anteriores. Estas observações não são verdadeiras para o caso onde o sistema de montagem já foi projetado prevendo-se a entrada de um novo produto.

Neste capítulo, primeiramente serão apresentadas algumas formas de se descrever um produto e sua estrutura. Antes de iniciar-se o estudo detalhado do processo de montagem, deve-se obrigatoriamente conhecer o produto que será montado e suas características. Desta forma, a descrição do produto pode ser encarada como uma entrada de dados para a realização do PSM. Dentro deste contexto, ainda discute-se sobre a conexão entre as peças, ponto de fundamental importância para o PSM.

Em uma segunda etapa procura-se explicar o forte relacionamento entre a escolha da seqüência de montagem, objeto principal do PSM, e o projeto do produto. Além disto, ainda são expostas quatro maneiras de se representar graficamente uma montagem, a saber: diagramas de precedência, diagramas de ligação, gráficos “e/ou” e redes de Petri.

3.2 – PRODUTO

Os recentes progressos obtidos na área da montagem, devem-se principalmente aos feitos obtidos durante a etapa de projeto do produto. Em função disto, antes de iniciar uma explanação mais detalhada sobre o planejamento da seqüência de montagem, convém esclarecer alguns pontos sobre a estrutura do produto e a conexão entre as peças.

3.2.1 – DESCRIÇÃO DAS PEÇAS

Em adição aos desenhos, existem métodos efetivos para classificar e descrever as peças constituintes de um produto e da sua estrutura. Convém ressaltar que esses métodos podem possuir outras aplicações além da aqui apresentada, e ainda existem outras maneiras de se realizar esta descrição.

Dos métodos descritos a seguir, a tecnologia de grupo é o mais difundido e sobre o qual já foram desenvolvidos alguns sistemas comerciais para a codificação e classificação de peças. Apesar disto, atribui-se uma maior importância a utilização de “features” e da topologia no PSM. Isto porque a tecnologia de grupo não pode ser utilizada isoladamente para a descrição das peças, já que não consegue representar todos os detalhes das mesmas.

A descrição das peças através de “features” pode ser considerada uma tendência. Este método está sendo cada vez mais utilizado em sistemas computacionais, como os sistemas CAAPP (“Computer Aided Assembly Process Planning”) e possui um grande potencial de desenvolvimento.

3.2.1.1 – DESCRIÇÃO DAS PEÇAS ATRAVÉS DE TECNOLOGIA DE GRUPO

Desde o início da cultura humana as pessoas procuram aplicar a razão às suas ações. Um modo importante de agir racionalmente consiste na associação de objetos similares. Biólogos classificam itens da natureza em gêneros e espécies. Bibliotecários aplicam taxonomia⁶ para classificar livros em bibliotecas [Ferr96].

Este mesmo conceito pode ser aplicado a outros problemas. Quando uma vasta quantidade de informações precisa ser guardada e ordenada, aplica-se a taxonomia. Ao observar-se as peças que constituem um produto, o número pode ser excepcionalmente elevado. Cada peça possui forma, tamanho e funções diferentes. Entretanto pode-se identificar similaridades entre estas peças. Por exemplo, engrenagens de dentes retos de tamanhos diferentes sofrem o mesmo processo de fabricação, logo podem ser classificadas em famílias da mesma forma que animais e livros [Ferr96].

A tecnologia de grupo (TG) é uma técnica e uma filosofia que já vem sendo utilizada a muito tempo para aumentar a eficiência da produção, através do agrupamento de uma variedade de peças que possuem similaridades de forma, dimensão e/ou rota de processo. De acordo com [Hito79], as principais vantagens de se utilizar a Tecnologia de Grupo são:

- a) Efeito de produção em massa: pelo agrupamento de diferentes tipos de peças através de um efetivo sistema de codificação e classificação de peças, o tipo de produção pode passar de unitária para em lote ou massa;
- b) Possibilidade de um novo leiaute do chão-de-fábrica: o leiaute tecnologia de grupo (celular), torna o planejamento e controle da produção mais simples, pois somente peças similares são fabricadas em uma célula. Esta configuração ainda proporciona uma redução do tempo e do custo com a movimentação e suprimento de materiais, além de aumentar a flexibilidade da manufatura e diminuir a quantidade de material em processo;
- c) Redução do tempo de “setup”: esta redução é obtida porque muitos serviços são agrupados e processados em seqüência, podendo-se empregar as mesmas ferramentas e fixações.

⁶ Taxonomia: é um processo científico de classificação de seres vivos, vocábulos ou objetos.

Conforme [Ferr96], a tecnologia de grupo é “a percepção de que muitos problemas são similares, e que agrupando problemas similares, uma solução única pode ser encontrada para um conjunto de problemas, poupando-se assim tempo e esforço”.

Dentro do PSM, pode-se utilizar esta técnica na identificação de peças que possuam características de montagem semelhantes, e reuni-las em um determinado grupo. Dentro de cada um destes grupos pode-se listar os requisitos necessários para a realização das conexões e pontos relevantes a serem observados durante a montagem. Estas informações podem ser armazenadas em um banco de dados e utilizadas por sistemas computacionais como os citados na seção 4.4.

Para se formar as famílias de peças pode-se dispor dos seguintes métodos:

1. Método Visual

Tratando-se do projeto de peças, a proposta é agrupar as que possuam forma similar em uma família de projeto. Com relação a fabricação, procura-se agrupar as peças que possuam processos e rotas de fabricação semelhantes em uma família de produção, o que nem sempre resulta em uma similaridade de forma.

2. Métodos Heurísticos⁷

Estes métodos utilizam de uma série de perguntas e respostas, previamente elaboradas, para simplificar ou auxiliar a execução de uma tarefa. Geralmente emprega-se a heurística, no planejamento da seqüência de montagem, para diminuir o número total de possíveis seqüências, através de certos questionamentos a respeito de limitações de processo, estabilidade da montagem e aspectos tecnológicos. A referência [Heem89] traz um exemplo da aplicação da heurística no planejamento da seqüência de montagem.

3. Classificação e Codificação

Descreve as características da peça como, sua forma geométrica e/ou rota de processo (“setup”, seqüência de operações como usinagem e montagem, inspeção e medição) para sua fabricação, por meio de um código.

⁷ Método heurístico: é baseado em perguntas e respostas, sendo utilizado para encontrar a solução de problemas.

Através do agrupamento das peças com o mesmo código ou similar numa só célula, o projeto, planejamento do processo, manufatura e a estimativa dos custos podem ser feitos de uma maneira mais sistematizada.

Atualmente existem muitos sistemas de codificação e classificação como o sistema Opitz (Alemanha) e o sistema KK-3 (Japão) [Ferr96].

4. Análise do Fluxo de Produção

Ao invés de utilizar o código tecnologia de grupo, a análise do fluxo de produção envolve o exame do roteamento, e o agrupamento simultâneo das máquinas em células, e peças em famílias, baseado nas informações de fabricação.

Neste método todas as peças envolvidas são examinadas e as máquinas usadas são listadas junto com as peças numa matriz. Como a matriz contém informações sobre máquinas e peças, ela é denominada matriz máquina-peça. A matriz é composta por 1's e 0's (vide Figura 3.1). O tamanho da matriz é $M \times N$, sendo M o número de máquinas e N o número de peças. Se o número de máquinas e peças for pequeno, pode-se identificar as células através do método visual. Entretanto se mais peças e máquinas estiverem envolvidas, deve-se aplicar um método mais efetivo, como (a referência [Ferr96] explica estes algoritmos com detalhes):

- Algoritmo de Agrupamento Direto;
- Algoritmo Baseado no Coeficiente de Similaridade;
- Algoritmo de Ordem de Ranqueamento.

		Peça								
		0	1	2	3	4	5	6	7	9
M	0	1	1							
Á	1	1		1						
Q	2		1	1						
U	3				1			1		
I	4					1				
N	5							1		1
A	6					1		1	1	
	7								1	1

Figura 3.1 - Exemplo de uma matriz máquina-peça [Ferr96].

3.2.1.2 – DESCRIÇÃO DAS PEÇAS ATRAVÉS DE TOPOLOGIA

É um sistema matemático que relaciona quantitativamente a geometria das peças com propriedades de continuidade de figuras, ou seja, as propriedades topológicas invariantes. Conforme Ferreira [Ferr96], a topologia de uma peça é o modo no qual as faces, arestas e vértices estão conectados. Também pode ser encarada como uma abordagem matemática para a descrição da geometria de uma peça.

Em [Zuss90], é exposta a estrutura de um sistema informático para o planejamento do processo de montagem. Este sistema utiliza como dados de entrada a descrição do produto baseada na geometria de suas peças constituintes. Esta descrição é realizada através da topologia. Além da descrição de peças, a topologia também pode ser utilizada para outros fins como o proposto por Almgren [Almg94], que utiliza a topologia para o modelamento de sistemas de montagem robotizados.

Do ponto de vista topológico, um produto pode ser interpretado como um corpo tridimensional composto de diversas peças. Uma peça tridimensional consiste de um número finito de elementos como pontos, linhas, superfícies e volumes. Esses elementos podem ainda ser tratados como células, de maneira que uma peça possa ser representada por um conjunto de células.

A Figura 3.2(a), reproduz uma peça rotacional simétrica que pode ser representada bidimensionalmente. Pode-se representar esta figura em 3 elementos de forma (cilindros), como mostrado na Figura 3.2(b) e 3.2(c). Particularmente, $F_1 = \{A_1, A_2, A_5\}$ e $F_2 = \{A_3, A_4, A_6, A_7\}$ representam as superfícies externas, e $F_3 = \{A_7\}$ representa a superfície interna. O modelo é constituído de (i) vértices (0-células), (ii) bordas (1-célula), e (iii) elementos de área (2-células). Assim a estrutura básica do modelo pode ser definida por matrizes de incidência. Uma matriz fornece a incidência entre os vértices (P_n) e as bordas (I_n), enquanto a outra a incidência entre as bordas (I_n) e os elementos de área (A_n). A forma detalhada da peça pode ser determinada através da designação de valores das células para cada 2-células, e as dimensões podem ser dadas pelas fronteiras das células [Hito79].

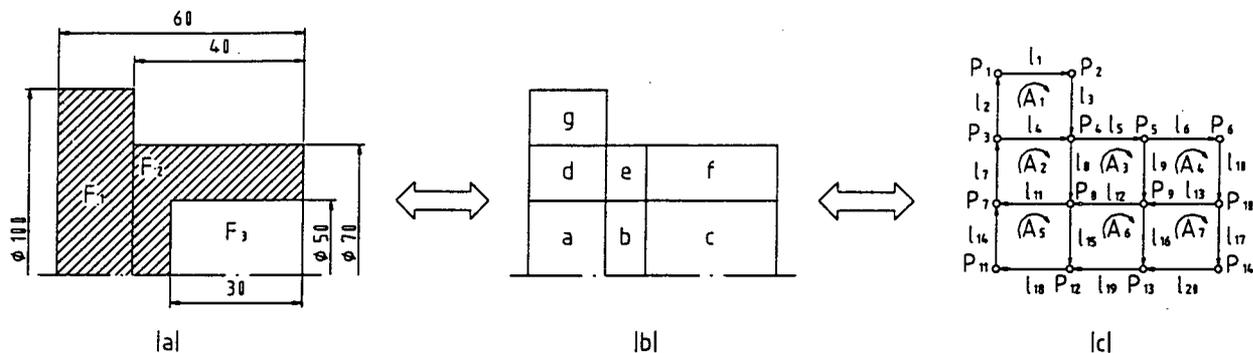


Figura 3.2 – Representação de uma peça rotacional simétrica em elementos de forma [Hito79].

Por meio desta representação, o projeto corresponde a:

- (a) Geração de um conjunto de matrizes de incidência para o estabelecimento de uma estrutura básica da peça;
- (b) Determinação dos valores das células e fronteiras para o estabelecimento das dimensões dos elementos de forma da peça.

3.2.1.3 – DESCRIÇÃO DAS PEÇAS ATRAVÉS DE “FEATURES”

Por tratar-se de um tema complexo, serão apresentadas apenas algumas definições e como pode-se utilizar “features” dentro do PSM. Maiores esclarecimentos sobre o tema podem ser obtidos na bibliografia [Salo95].

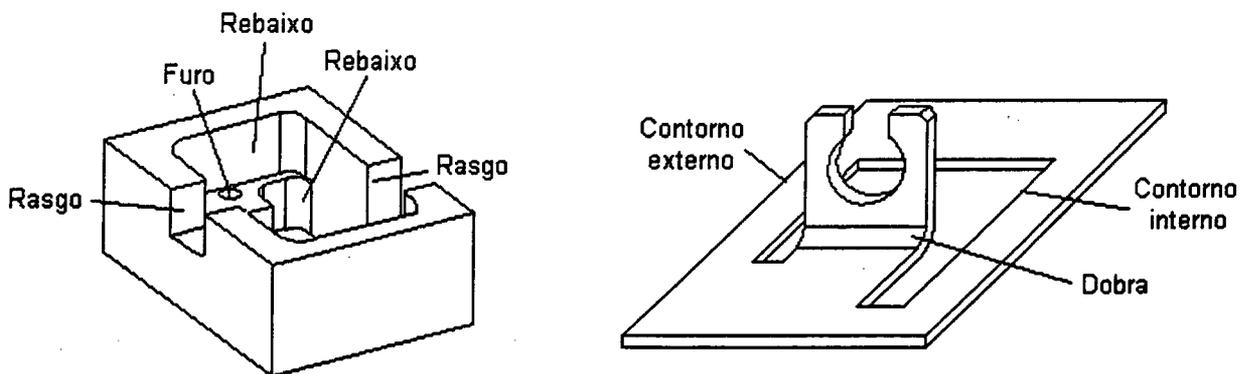


Figura 3.3 – Exemplos de diferentes “features” em peças mecânicas (adaptação da Figura 3.1 de [Salo95]).

O termo “features” pode ser encarado como um conjunto de informações que referem-se a aspectos de forma ou demais atributos de uma peça. As informações expressas através de “features” exprimem uma função de projeto ou fabricação das peças e das montagens das quais fazem parte. A Figura 3.3 ilustra alguns exemplos de “features” em diferentes peças.

Será difícil encontrar uma definição única para “features”, e muitos autores definem o termo fazendo uma relação com a descrição da forma. Isto gera uma certa confusão, já que pode-se utilizar “features” para outras aplicações além da descrição de produtos; é o caso do projeto e análise funcional de uma peça. A seguir serão apresentadas algumas definições extraídas do trabalho de Salomons [Salo95].

“Uma configuração geométrica específica formada na superfície, canto ou aresta de uma peça”

“Característica de uma peça, a qual define sua forma geométrica, que pode ser específica para um processo de usinagem ou utilizada para objetivos de medição e/ou fixação”

“Uma forma genérica que possui alguma função de engenharia”

“Um agrupamento semântico utilizado para descrever uma peça e sua montagem. Este agrupamento é feito por meio de informações funcionais, de projeto e manufatura”

Se observarmos as duas primeiras definições pode-se facilmente notar que são relativas a manufatura, enquanto que as duas últimas possuem um caráter mais genérico. De qualquer maneira a utilização de “features” sempre vai estar relacionada a um suporte computacional nas etapas de concepção e projeto detalhado, pois como anteriormente descrito, pode tanto representar uma função ou forma. Conforme Shah apud Salomons [Salo95], os requisitos mínimos que uma “feature” deve preencher são:

- Uma parte física de uma peça;
- Ser proveniente de uma forma genérica;
- Possuir uma função de engenharia;
- Ter propriedades previsíveis.

Se considerarmos as três principais abordagens para a realização do PSM descritas no capítulo 4, a aplicação de “features” se dá na abordagem computacional (vide seção 4.4). Dentro desta abordagem, pode-se dispor de features para a integração entre os sistemas CAD e CAAPP. Esta integração é realizada através de um programa que faz o reconhecimento de “features” em sistemas CAD e as traduz para um sistema CAAPP interativo. O sistema CAAPP, através de um banco de dados com informações relativas a montagem, conhecimento das relações de precedência e a descrição das peças, é capaz de realizar automaticamente determinadas etapas do PSM.

A idéia é que existem determinadas características de uma peça, como por exemplo furos com roscas e “snaps”, que induzem a utilização de certos movimentos durante a montagem. Sendo assim, para que seja possível montar uma peça em um furo roscado devemos observar três aspectos fundamentais:

- O acesso ao mesmo deve estar garantido (a utilização de uma ferramenta pode ser necessária);
- Movimento a ser utilizado é o descrito por uma espiral;
- Torque final a ser aplicado.

Da mesma forma para um “snap”:

- Deve-se conhecer a forma (incluindo espessura) do furo no qual será conectado;
- O acesso deve estar garantido;
- Considerar a força de encaixe;
- Movimento a ser utilizado. Geralmente este movimento é em um só eixo e/ou combinado com um movimento rotatório (como por exemplo 1/4 de volta).

Como anteriormente mencionado, estes dados por si próprios não permitem ao sistema CAAPP realizar o seu trabalho. A interatividade com o especialista de processo é necessária para a determinação das relações de precedência e compilação das demais informações relevantes ao PSM. Para maiores esclarecimentos sobre as atividades ligadas ao PSM, consultar o capítulo 5.

3.2.2 – ESTRUTURA DO PRODUTO

Conforme Baartman [Baar95], a estrutura de um produto pode ser definida como uma descrição das peças de um produto e as relações entre as mesmas.

A estrutura do produto é determinada pelo projetista, tendo em mente os aspectos funcionais, o custo, a fabricação das peças e o processo de montagem. Outros aspectos como a manutenibilidade e a confiabilidade também são levados em conta no momento da definição da estrutura do produto. Apenas recentemente as vantagens de se otimizar a estrutura do produto tornaram-se claras. Por exemplo, se as peças de um produto puderem ser agrupadas em módulos que sejam padrões, e os mesmos forem montados em um estágio final do processo de manufatura, elas podem ser manufaturadas mais eficientemente (até testadas separadamente). Com isso pode-se obter vantagens como a diminuição do custo final de fabricação e do tempo entre o pedido e a entrega.

Um produto mecânico constitui-se, geralmente, da montagem de muitas peças manufaturadas ou compradas. Podem existir ainda submontagens ou módulos, que por sua vez são constituídos de uma série de peças. Desta forma um produto é a montagem final de peças, submontagens ou módulos. A Figura 3.4 ilustra uma estrutura de produto hierárquica.

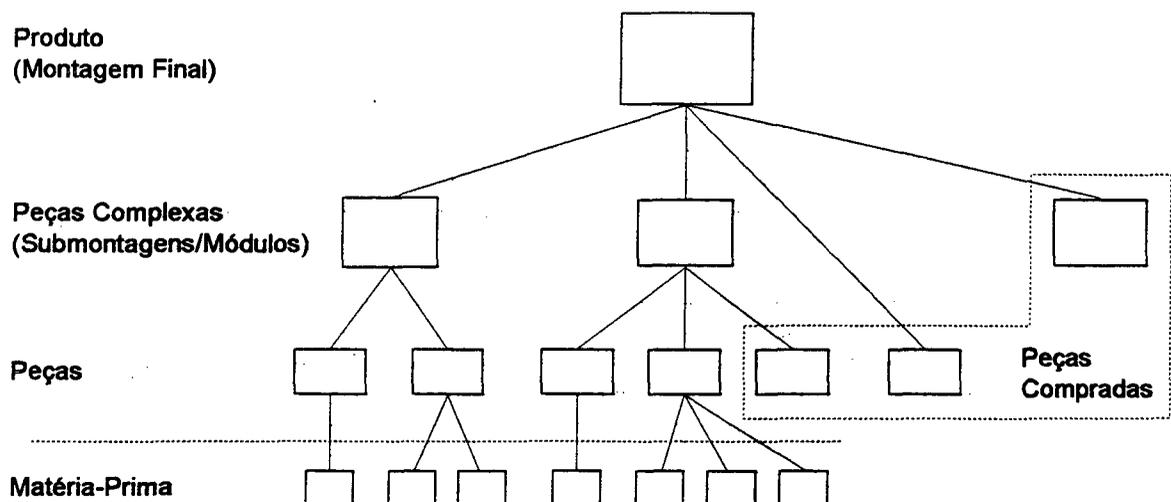


Figura 3.4 - Ilustração de uma estrutura de produto hierárquica [Hito79].

Para descrever totalmente um produto, são necessários dados a respeito dos itens (peças, submontagens ou módulos e matéria-prima) e dados da estrutura do produto. Isto pode ser realizado através de diagramas como os da Figura 3.5 [Hito79]. As ditas “listas de material”, apesar de descreverem apenas os itens e a sua quantidade, são de muita utilidade no “chão-de-fábrica”, principalmente para a conferência e suprimento de materiais.

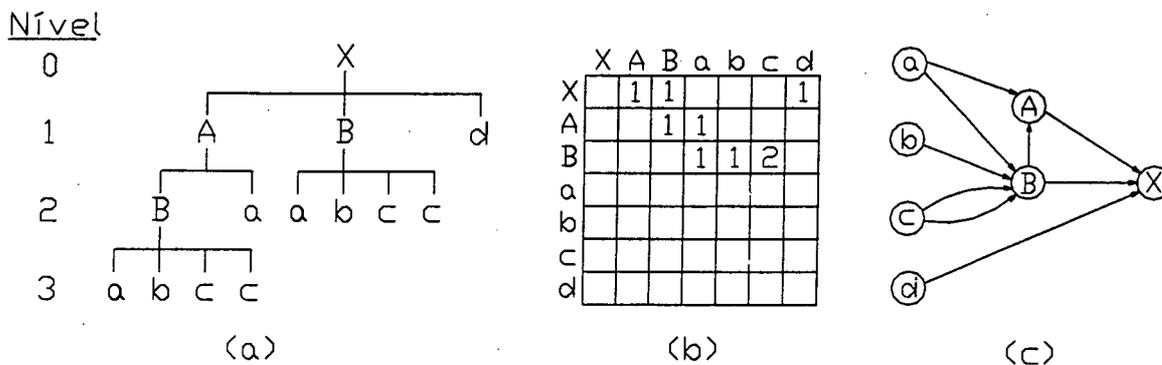


Figura 3.5 - Representação da estrutura do produto ou da lista de materiais através de diagramas (a) Árvore (b) Matriz de incidência (c) Gráfico [Hito79].

Depois de realizado o planejamento da produção, as quantidades e tipos de peças e submontagens ou módulos requeridos devem ser determinados. Isto é realizado pela explosão do produto em diferentes níveis (Figura 3.5 (a)). A cada explosão as peças que compõem o produto são detalhadas; desde sua forma final, passando pelas submontagens ou módulos e peças, até a matéria-prima (quando não se tratarem de peças compradas). Através de sucessivas explosões obtém-se a lista de materiais.

A quantidade de peças ou matéria-prima necessária durante um período de produção predeterminado, é obtida através da multiplicação da quantidade final de produtos requerida, pela quantidade de peças ou materiais indicada na lista de materiais dos produtos agendados.

3.2.3 – CONEXÕES ENTRE AS PEÇAS

Baartman [Baar95] define conexão como a união entre uma ou mais peças dentro de uma montagem parcial, de maneira que a liberdade relativa de movimento

seja reduzida ao requerido para a satisfação de sua função. O requisito funcional pode ser uma fixação parcial ou total das peças, com a resistência especificada.

Segundo Martens apud Baartman [Baar95], é possível descrever a conexão entre cada duas peças que possuem contato em seis entidades principais (Figura 3.6):

- Identificação da Conexão (as duas partes conectadas);
- Classificação da Conexão (se existente);
- Localização de Inserção: a posição e orientação onde a conexão entre as duas peças inicia, definida em relação a origem do produto;
- Localização Final: a posição e orientação onde a conexão entre as duas peças termina, definida em relação a origem do produto;
- Rota de Inserção: uma combinação finita de translações e rotações que descrevem a rota do ponto de inserção ao ponto final;
- Designação das Direções de Aproximação: determinação do conjunto de direções e movimentos para se aproximar do ponto de inserção. As direções de aproximação podem ser computadas desta designação.

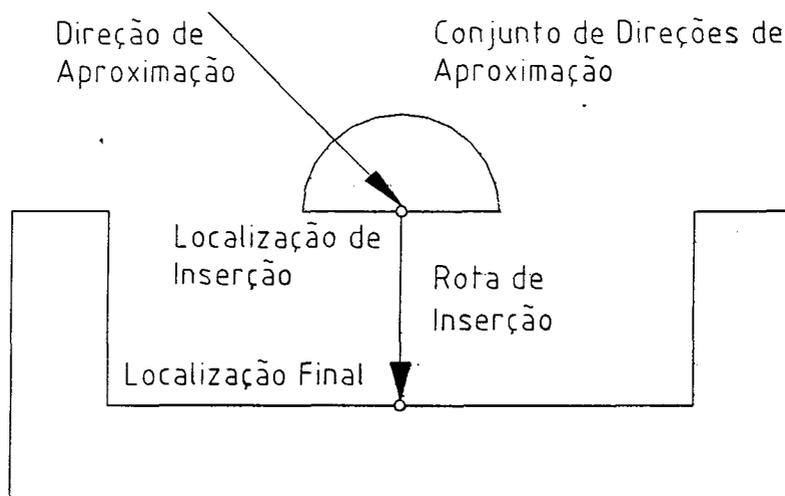


Figura 3.6 - Definição do modelo de conexão [Baar95].

O modelo de conexão representa informações úteis que podem ser adicionadas as demais informações do produto que são usadas no processo de planejamento da montagem. Ele fornece uma descrição concisa da maneira através da qual as peças são unidas.

O modelo apenas considera o movimento entre dois objetos geométricos. O contato entre outras peças presentes na montagem não é considerado e pode ser representado através de diagramas de contato, como o de ligação (seção 3.3.1.2). Em muitos casos, mais de duas peças formam uma conexão. Nestes casos a descrição de cada combinação de duas peças pertencentes a conexão, podem não conduzir aos processos de montagem adequados, sendo necessária uma análise suplementar.

Uma classificação das conexões faz-se necessária, a fim de descrever os processos atuais para realizar uma conexão. O fator discriminante pode ser o processo de montagem e o equipamento necessário para realizar a conexão. A norma DIN 8593 de 1985, traz uma subdivisão dos processos de união em nove grupos principais. Nesta norma, os grupos individuais são caracterizados pelo tipo de conexão entre as peças e a separação da junção. Andreasen [Andr88] categoriza os grupos em função dos métodos de união: preenchimento, interferência, mudança de fase, mudança de forma, por meio do material, costura, entre outros.

Para cada grupo, as informações da montagem podem ser especificadas em termos das peças envolvidas, o método de união, as ferramentas e equipamentos, e as informações sobre a conexão. O modelo de conexão pode ser usado para planejar todas as transferências necessárias para que cada peça possa ser unida com a montagem final. As informações adicionais armazenadas na classificação da conexão, podem ser diretamente utilizadas para especificar as operações de montagem corretas para cada conexão.

3.3 – O PLANEJAMENTO DA SEQUÊNCIA DE MONTAGEM - PSM

A escolha da seqüência de montagem e a identificação de submontagens estão tão relacionadas com os aspectos de projeto do produto, que naturalmente promovem a integração com a manufatura durante a fase de projeto detalhado.

O estudo das seqüências de montagem envolvem a identificação das potenciais superfícies de fixação, manuseio e forças de montagem, ajustes e tolerâncias, além de outros aspectos que devem ser considerados no projeto das peças. É importante ressaltar que a consideração destes aspectos é mais importante no caso da montagem automatizada.

Imagine um produto hipotético constituído de dez peças. Teoricamente este produto pode ser montado através de “N!” seqüências de montagem diferentes, dentre elas, de cima para baixo, de baixo para cima, ou a partir de submontagens. Uma pergunta que pode surgir é:

“O que torna uma seqüência ou maneira de montar melhor do que a outra?”

Abaixo, encontram-se listados alguns pontos que podem responder a pergunta formulada:

- *Razões construtivas*, como o acesso aos pontos de conexão, os quais podem reduzir o tempo total de montagem e a quantidade de recursos necessários;
- *Facilidade de realizar a montagem*, pois algumas seqüências podem gerar montagens de sucesso duvidoso ou cuja falha pode resultar em dano a outras peças, causar condições de montagem inseguras, prejudicar o funcionamento do produto, ou colocar em risco o usuário final;
- *Razões de controle de qualidade*, como a possibilidade de testar a função de uma submontagem ou o cancelamento de seqüências que inserem peças frágeis já no início do processo de montagem;
- *Razões de processo*, pois algumas seqüências podem não permitir que uma peça seja fixada ou direcionada através da superfície desejada, comprometendo o sucesso da montagem. Algumas seqüências podem necessitar muitos movimentos improdutivos, como fixações ou troca de ferramentas. Em algumas seqüências pode ser necessário virar a montagem, possibilitando a desmontagem espontânea, caso não tenham sido previstos meios de fixação adicionais. Virar a montagem pode até não ser um problema na montagem manual, mas quando tratar-se de uma montagem automatizada, esta operação pode ser difícil, incômoda e cara;
- *Tipo de montagem a ser empregado*, já que a seqüência ótima para uma montagem manual, dificilmente será uma boa opção para uma montagem mecanizada ou automatizada. Outro ponto a ser considerado neste item é a força requerida e o número de graus de liberdade necessários para a realização da montagem;

- *Balaceamento da linha de montagem*, geralmente é o ponto que mais influencia na escolha da seqüência de montagem. As atividades são agrupadas e relacionadas a estações de trabalho, de maneira que a taxa de utilização das mesmas seja a maior possível;
- *Razões estratégicas de produção*, como no caso de submontagens ou módulos comuns a diversos modelos produtos;
- Além das acima citadas, ainda existem uma série de outras considerações que podem, e sempre que possível devem ser consideradas, para auxiliar na determinação da melhor seqüência de montagem.

3.3.1 – REPRESENTAÇÃO DAS SEQÜÊNCIAS DE MONTAGEM

Um artifício muito utilizado durante a realização do PSM, é a representação gráfica das seqüências de montagem. Ela permite um melhor entendimento do processo e facilita a análise e comparação das seqüências geradas.

Existem diversas formas de se representar graficamente uma seqüência de montagem, sendo que as mais conhecidas são: diagramas de precedência, diagramas de ligação, gráficos “e/ou” e redes de Petri. O emprego de uma ou da combinação delas depende da complexidade do produto, experiência do especialista e das ferramentas disponíveis, uma vez que muitas delas servem de entrada para métodos computacionais de análise da montabilidade.

3.3.1.1 – REPRESENTAÇÃO POR DIAGRAMAS DE PRECEDÊNCIA

Um diagrama de precedência é um gráfico que representa a(s) maneira(s) através da(s) qual(is) um produto pode ser montado. Nele, devem estar incluídas todas as restrições à montagem do produto. Ele é, basicamente, construído a partir de uma análise conjunta da estrutura do produto, forma geométrica e tamanho das peças, com os recursos disponíveis para realização da montagem. Outra abordagem usada na construção de um diagrama de precedência, é o estudo de todas as seqüências de desmontagem possíveis para o produto. Esta última forma é mais utilizada quando o produto ou um protótipo do produto já se encontram disponíveis.

Não existe uma padronização quanto a simbologia empregada em diagramas de precedência. Geralmente utiliza-se círculos com números inscritos para representar os elementos de trabalho ou operações que constituem a montagem. Os tempos das operações são colocados sobre os círculos (o tempo é comumente expresso em minutos). As operações são unidas por meio de arcos que representam a ordem com que o produto deve ser montado.

As Figuras 3.7 (b) e 3.7 (c) ilustram diagramas de precedência para a montagem da caneta esferográfica da Figura 3.7 (a). No primeiro diagrama não fica totalmente claro que a montagem poderia ser iniciada pelas operações 1 ou 2; gerando mais de uma seqüência de montagem. Outras seqüências poderiam ser geradas, como na Figura 3.7 (c).

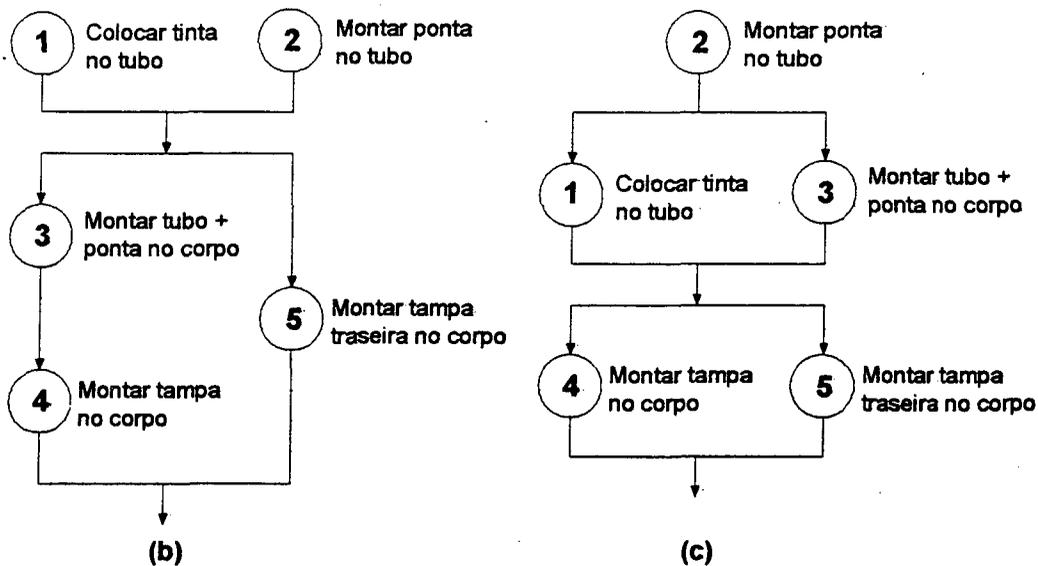
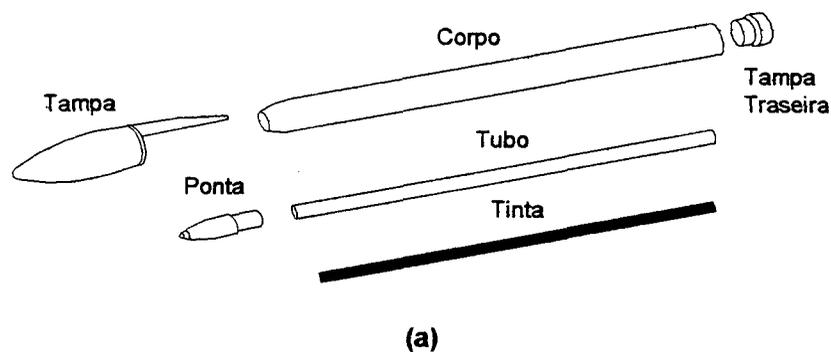


Figura 3.7 – (a) Peças constituintes de uma caneta esferográfica (b) e (c) Diagramas de precedência para a caneta da Figura (a).

Neste exemplo pode-se facilmente identificar que existem somente três restrições: a operação 2 deve ser realizada antes da 1 ($2 \rightarrow 1$), a 3 antes da 4 ($3 \rightarrow 4$) e a 1 antes das 3 e 5 ($1 \rightarrow 3$ e 5). Estas restrições já descartam seqüências geradas pelos diagramas de precedência das Figuras 3.7 (b) e (c). Em produtos mais complexos, decisões desta natureza requerem uma série de análises, tornando-se uma tarefa árdua e fatigante.

Os diagramas de precedência são amplamente utilizados pelas indústrias, principalmente pela sua simplicidade e facilidade de visualização. Eles são muito usados como ferramenta de apoio ao projeto de linhas de montagem e na realização do balanceamento das mesmas. Por permitir uma boa visualização, também auxiliam na escolha da(s) melhor(es) seqüência(s) de montagem, que muitas vezes é realizada para que se atinja o melhor balanceamento.

Existem estudos para a geração sistemática de diagramas de precedência, como o desenvolvido por Chen e Henrioud [Chen94]. Neste, os diagramas são construídos através de duas etapas; a primeira gera todas as operações possíveis (com intervenção humana), enquanto que a segunda automaticamente determina os diagramas de precedência. Apesar de existirem outros estudos desta natureza, a determinação de diagramas de precedência ainda depende, e muito, da intervenção de especialistas.

Não obstante a estes fatores, a representação por diagramas de precedência apresenta algumas limitações, como:

- os diagramas de precedência, por si só, não geram seqüências de montagem. Estas são geradas pelo analista, o que requer uma certa experiência do mesmo;
- para produtos complexos não consegue-se representar todas as seqüências possíveis através de um único diagrama de precedência;
- um mesmo produto pode ser montado através de diferentes operações, que variam conforme a seqüência de montagem a ser empregada;

- algumas seqüências de montagem podem ser deixadas de lado, ou ainda, devido a pouca experiência do analista, seqüências de montagem impossíveis podem ser representadas, retardando o processo de planejamento da montagem;
- torna-se conveniente quando o projeto da linha de montagem for baseado em uma já existente. Porém, quando o objetivo for o projeto de uma nova linha de montagem para um produto de relativa complexidade, deve-se tomar um certo cuidado na sua utilização. Isto porque, mesmo para um analista experiente, fica difícil pressupor que a linha de montagem obtida de um diagrama de precedência, seja mais eficiente do que a resultante de outros.

3.3.1.2 – REPRESENTAÇÃO POR DIAGRAMAS DE LIGAÇÃO

O diagrama de ligação, introduzido por Bourjault em [Bour84], é um gráfico que representa a conexão entre as peças em uma montagem. Cada nó representa uma peça, enquanto que cada arco ou ligação representa um contato entre as mesmas. Distinguem-se dois tipos de contatos entre as peças: contato físico e contato relacional. No contato físico, como o próprio nome indica, as peças encontram-se em contato físico uma com as outras. Já no contato relacional, representado pelas linhas tracejadas na Figura 3.8, as peças possuem um importante relacionamento.

O diagrama de ligação não estabelece as relações de precedência entre as peças constituintes do produto. Basicamente, estas relações são estabelecidas através de análises em cima do mesmo e das restrições existentes. Apesar disto ele é muito útil para avaliação das conexões entre as peças, e por isto foi incluído nesta seção.

Os dados fornecidos por este diagrama servem de entrada para algoritmos e outros métodos para a geração da seqüência de montagem. Também servem de auxílio para a construção de diagramas de precedência e gráficos “e/ou”. A Figura 3.8 ilustra o diagrama de ligação para a caneta esferográfica da Figura 3.7 (a).

- Tampa "A"
- Ponta "B"
- Corpo "C"
- Tubo "D"
- Tinta "E"
- Tampa traseira "F"

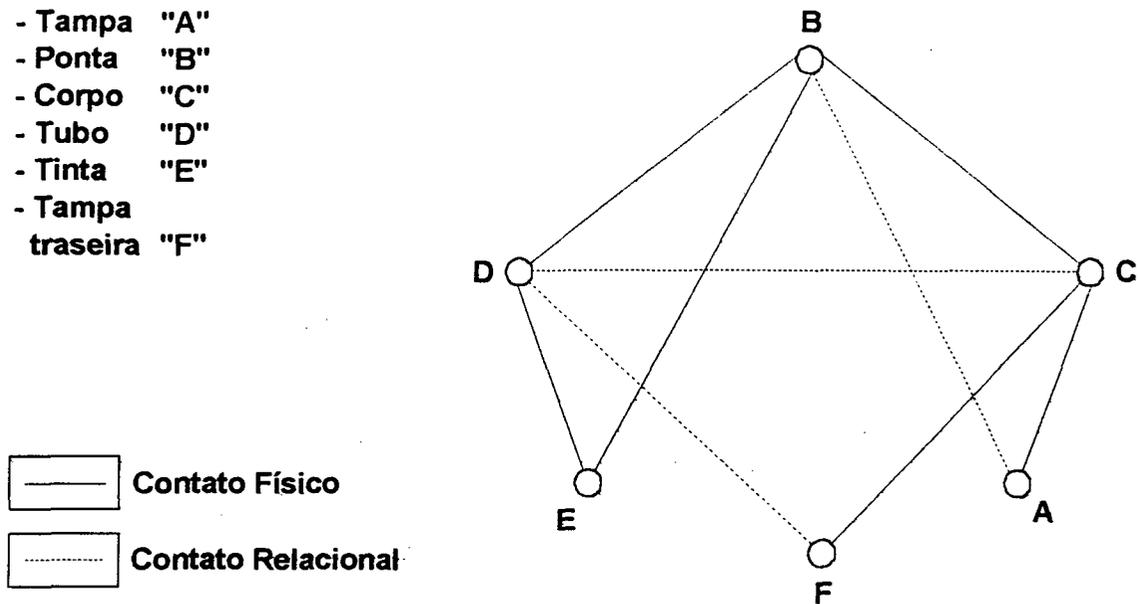


Figura 3.8 – Diagrama de ligação para a caneta esferográfica da Figura 3.7 (a).

3.3.1.3 – Representação por Gráficos “E/OU”

O PSM de um produto composto de diversas peças, pode ser tratado como um problema de procura, no espaço dos estados de todas as configurações possíveis para um dado conjunto de peças. O estado inicial é a configuração na qual todas as peças estão desconectadas; enquanto que no estado final elas encontram-se devidamente unidas, formando o produto desejado. Os movimentos que levam de um estado a outro são correspondentes às operações de montagem, desde que cada uma delas mudem a posição relativa de apenas uma peça [Mello86].

Neste contexto, qualquer conjunto de peças unidas que forme uma unidade estável é chamado de montagem. A palavra submontagem refere-se a uma montagem que é parte de outra, mais complexa, e sempre carrega a conotação de um subconjunto [Mello86].

Existem muitas configurações que podem ser feitas a partir das mesmas peças. Considerando que se obtém mais ramificações do estado inicial para o final, do que a partir do estado final para o inicial; um encadeamento para trás é mais eficiente para a resolução do problema de planejamento da montagem. Sendo assim o problema de determinar como um produto será montado, converte-se para como o mesmo pode ser desmontado.

Como muitas operações de montagem não são necessariamente reversíveis, a equivalência dos dois problemas só existirá se cada operação utilizada na desmontagem seja o inverso de uma possível operação de montagem. A expressão operação de “desmontagem” refere-se, portanto, ao inverso de uma possível operação de montagem. A partir desta abordagem, torna-se impossível a geração de seqüências inviáveis, que retardam o processo de busca pela melhor solução.

Desta forma o problema de desmontar um produto, é decomposto em subproblemas distintos, cada um referente a desmontagem de uma submontagem. Se as soluções para os subproblemas puderem ser encontradas, então a solução para o problema original pode ser obtida pela combinação das soluções dos subproblemas e a operação utilizada na sua decomposição.

Estruturas conhecidas por gráficos “e/ou”, ou hipergráficos, são úteis para representar problemas de decomposição. Em um gráfico “e/ou” os nós correspondem às montagens, e os que contém apenas uma peça são denominados nós terminais. Os hiperarcos (ou k-conectores, k sendo um inteiro maior que zero) correspondem as operações de desmontagem.

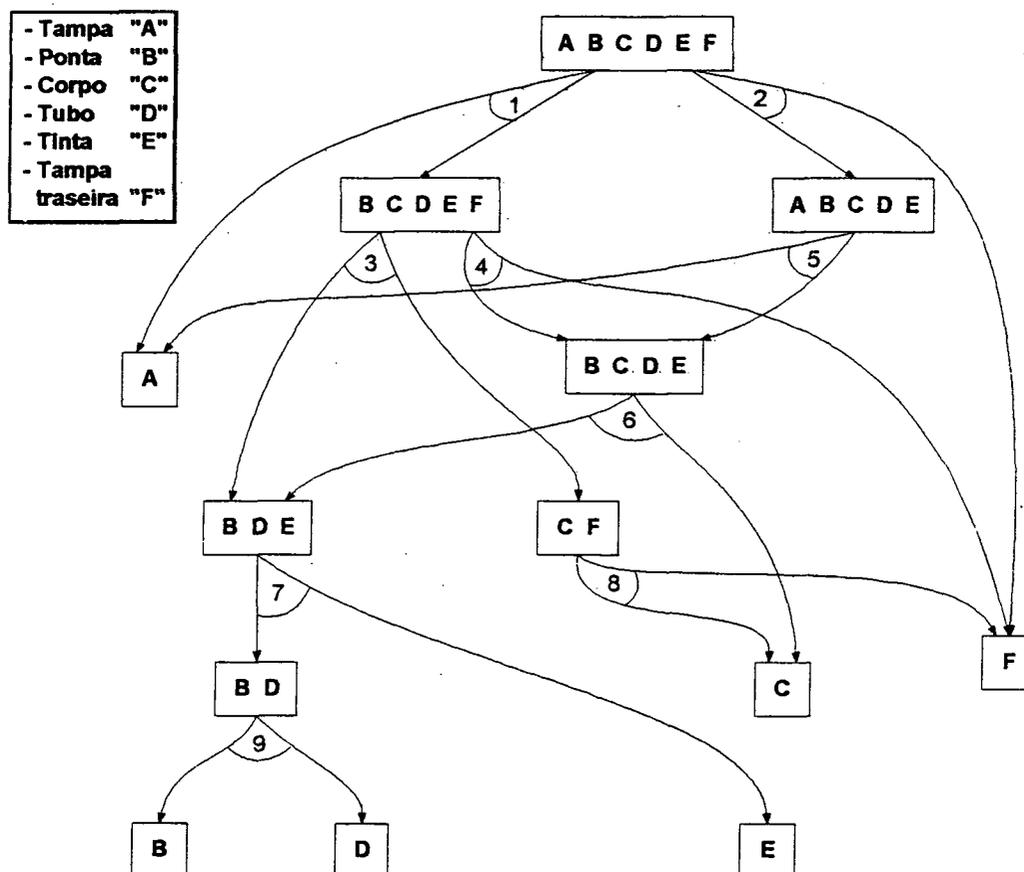
Uma árvore de solução para um nó N em um gráfico “e/ou”, é um subgráfico que deve ser definido a partir de N mais um de seus hiperarcos e o conjunto de árvores de solução dos nós sucessores a partir destes hiperarcos. Esta definição assume que o gráfico seja aberto, como acontece em um problema de desmontagem. Podem existir nenhuma, uma (no caso de N ser um nó terminal) ou muitas árvores de solução para um nó de um gráfico “e/ou”.

Para a aplicação no problema de montagem, esta representação possui a útil característica de incluir todas as possíveis disposições parciais das operações de montagem. Além disso, cada disposição parcial corresponde a uma árvore de solução de um nó correspondente ao produto final (montado). Ao contrário da utilização de diagramas de precedência, através de gráficos “e/ou” pode-se representar todas as seqüências de montagem teoricamente possíveis em um só diagrama. Este é um fator bastante positivo, pois garante que nenhuma seqüência seja deixada de lado sem uma análise prévia.

Em um gráfico “e/ou” qualquer submontagem é representada por um único nó, mesmo que ele possa ser obtido através de diferentes operações de desmontagem.

Outro detalhe importante é que cada hiperarco corresponde a uma única operação de desmontagem, logo duas seqüências diferentes só incluem a mesma operação se árvores de solução correspondentes possuírem o mesmo hiperarco.

A Figura 3.9 ilustra o gráfico "e/ou" para a caneta esferográfica da Figura 3.7 (a). Note que as três restrições citadas na seção 3.3.1.1 já foram consideradas neste gráfico. Os hiperarcos correspondentes a cada nó encontram-se identificados (1 a 9).



A Figura 3.9 – Gráfico "e/ou" para a caneta esferográfica da Figura 3.7 (a)

3.3.1.4 – REPRESENTAÇÃO POR REDES DE PETRI

Como já mencionado, existe uma forte tendência a utilização de sistemas de manufatura flexíveis, em função do aumento da variedade de produtos e diminuição do tamanho dos lotes. Estes sistemas devem ainda admitir rápidas alterações no processo, atingindo uma alta produtividade sem perda da qualidade dos produtos.

Devido a estas características, os sistemas de manufatura flexíveis tendem a ser extremamente complexos, principalmente se considerarmos os automatizados. Isto torna difícil o seu projeto, análise prévia e implementação. Uma das ferramentas de

modelagem que vem sendo cada vez mais utilizada em problemas de controle são as Redes de Petri (RdP's). Elas possuem a capacidade de modelar eventos discretos, representando com muita simplicidade as atividades paralelas e/ou concorrentes, bem como as assíncronas.

As Redes de Petri constituem-se de um modelo do tipo estado-evento, onde cada evento possui pré-condições que vão permitir a sua ocorrência e pós-condições decorrentes desta, as quais são por sua vez pré-condições de outros eventos posteriores [Palo96].

Conforme Peterson apud Palomino e Stange [Palo96], uma Rede de Petri pode ser vista como um tipo particular de gráfico orientado que permite modelar as propriedades estáticas de um sistema a eventos discretos, sendo constituído de dois tipos de nós interligados por arcos:

- As transições (barras), correspondem aos eventos que caracterizam as mudanças de estado do sistema;
- Os espaços (círculos), correspondem as condições que devem ser certificadas para os eventos acontecerem.

Em uma Rede de Petri os eventos são representados por transições, e cujo disparo (através de uma ficha - pontos pretos) indica a sua ocorrência. Para o disparo de uma transição, é necessário que o espaço esteja sensibilizado através de uma ficha. Relacionam-se os eventos às condições por meio de arcos direcionados que interligam as transições aos espaços [Palo96]. A Figura 3.10 traz exemplos de relações de causalidade que podem ser modeladas por Redes de Petri.

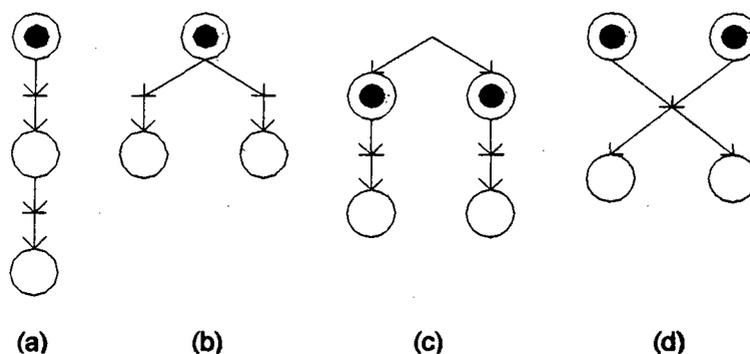


Figura 3.10 - Relações de causalidade modeladas por Redes de Petri. (a) Sequenciamento (b) Conflito (c) Concorrência (d) Sincronização [Palo96].

Existem diversos tipos de Redes de Petri que podem ser utilizadas para o modelamento, análise e controle de eventos em sistemas de manufatura; dentre elas pode-se destacar (para maiores detalhes consultar [Palo96]):

- RdP autônoma: é o modelo básico, permitindo modelar qualquer tipo de sistema a eventos discretos, mostrando apenas como o sistema se comporta e permitindo a validação qualitativa do funcionamento do processo;
- RdP não autônoma: possui um maior campo de aplicação que a anterior. As RdP's sincronizadas, por exemplo, permitem modelar a evolução de um sistema sujeito a restrições externas. Sua maior aplicação é para a modelação de sistemas em tempo real;
- RdP's temporizadas e estocásticas: tomam o tempo em consideração. Permitem a análise qualitativa do funcionamento de um processo, sendo utilizadas para avaliar o desempenho de sistemas de manufatura diversos;
- RdP colorida: é um artifício que facilita a modelagem de grandes sistemas de manufatura com processos similares.

Palomino e Stange [Palo96] listam diversas razões para a utilização das Redes de Petri na modelagem de sistemas de manufatura; dentre elas destacam-se:

- 1) RdP's possuem uma forma gráfica fácil de entender, na qual é possível visualizar sistemas complexos;
- 2) Permitem modelar concorrência, eventos assíncronos, relações de precedência lógica e interações estruturais numa maneira simples e natural. Conflitos, bloqueios, "buffers" finitos, sincronizações, prioridades, e operações de montagem e desmontagem também podem ser modelados fácil e eficientemente;
- 3) As RdP's representam uma ferramenta de modelagem hierárquica, com uma base matemática e prática bem desenvolvida. Análise estrutural e temporal podem ser executadas através de RdP's estocásticas;
- 4) Proporciona diversos níveis de abstração na representação de um mesmo sistema;
- 5) Descreve aspectos estáticos e dinâmicos do sistema a ser apresentado;

6) Possuem métodos de análise, existindo atualmente programas computacionais comerciais para análise dos tipos mais simples de redes.

Em um sistema de montagem o disparo de uma transição consiste em retirar uma ficha de cada lugar de entrada da transição, e colocar (após o tempo de execução de atividade) uma ficha em cada lugar de saída da transição. Esta dependência dinâmica representa um fluxo de objetos na execução de um programa de produção, descrevendo portanto operações sobre objetos [Palo96].

Em uma operação de montagem as entradas da transição são as peças necessárias para completar uma determinada montagem. Esta operação só pode ser efetivada quando todas as peças necessárias estiverem presentes. A Figura 3.11 (a) traz o exemplo da montagem de um conjunto (amortecedor dianteiro, mola e batentes) no munhão de um veículo. A montagem é realizada através da fixação da submontagem (conjunto) no elemento base (munhão), por meio de dois parafusos e duas porcas. A RdP simplificada da Figura 3.11 (b) ilustra esta operação.

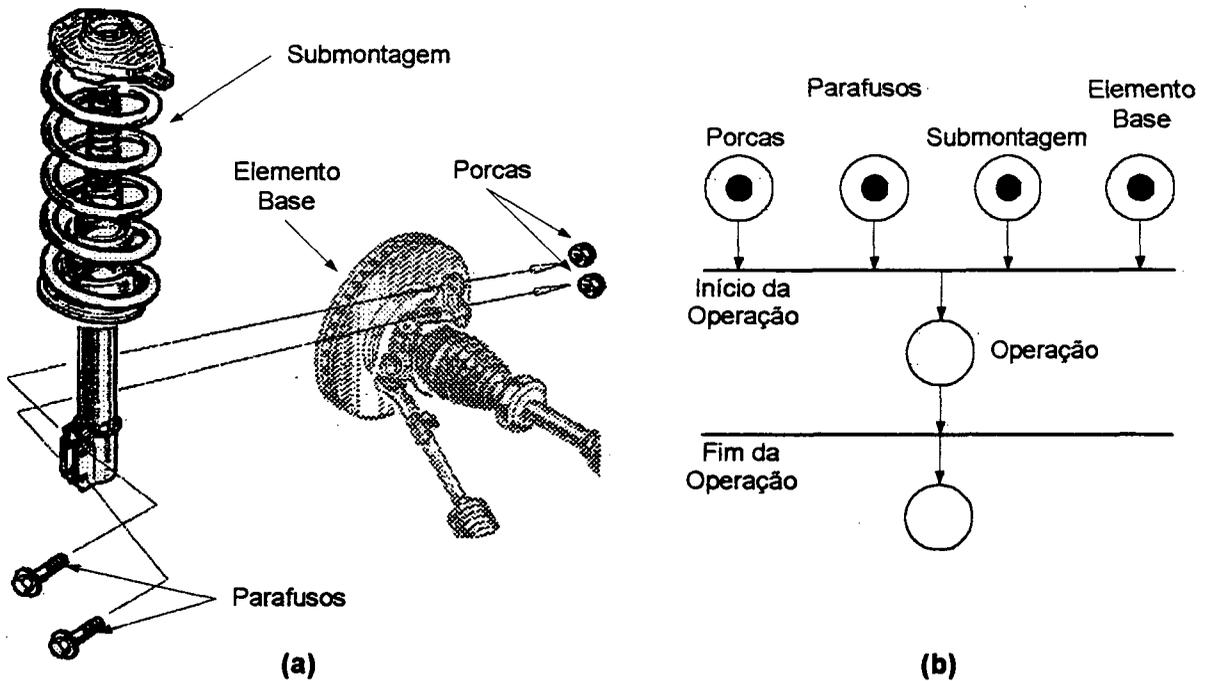


Figura 3.11 – (a) Montagem de um conjunto (amortecedor dianteiro, mola e batentes) no munhão de um veículo (b) Representação desta operação por meio de uma RdP.

3.3.2 – GERAÇÃO DAS SEQÜÊNCIAS DE MONTAGEM

Até agora falou-se sobre a importância de ter-se seqüências de montagens eficazes. Para que isso seja alcançado, é preciso que diversas alternativas sejam geradas e avaliadas de uma maneira sistemática.

Esta não é uma tarefa fácil e ainda hoje muitas seqüências, principalmente, a de produtos com poucas peças são geradas manualmente, por meio da combinação entre as peças do produto. Este método é trabalhoso e raramente resulta em um grande número de alternativas para a escolha final.

Sabe-se que um grande número de seqüências podem ser geradas, e que cada uma delas pode possuir características distintas. Algumas podem envolver a utilização intensiva de submontagens (como no caso de produtos modulares), enquanto outras podem não possuí-las, mas iniciar com peças diferentes. As alternativas de seqüências podem também resultar em diferentes tempos de montagem, métodos utilizáveis e leiautes para a fábrica. Isto oferece um grande incentivo para o estudo de todas as seqüências, de maneira que se possa fazer a melhor escolha.

Tradicionalmente, os engenheiros industriais utilizam-se do diagrama de precedência para representar as restrições, que limitam a maneira através da qual um produto pode ser montado. Entretanto, os diagramas de precedência por si só não podem gerar as seqüências de montagem, e muitos produtos não podem ser representados através dos mesmos. Além disso, os métodos usados para criar seqüências de montagem têm sido, preferencialmente, algorítmicos.

Neles o analista geralmente inicia com uma regra, como “inicie com a peça base”, onde a “peça base” não é rigorosamente definida. Ela pode ser qualquer peça grande, ou que irá terminar na superfície externa da montagem, ou na qual o maior número de peças são adicionadas, ou que ainda possa ser seguramente fixada. O próximo passo é iniciar a exploração das diversas árvores de seqüências de montagem, a partir desta raiz. As seqüências que são impossíveis ou indesejáveis, devido a restrições, devem ser descobertas uma a uma [Nevi89].

Uma técnica que garante a geração de todas as seqüências é o método de desmontagem que utiliza-se dos gráficos “e/ou”. Neste método inicia-se com o produto

completo, e sistematicamente desmonta-se o mesmo por todos os caminhos possíveis. Não existe a possibilidade de seqüências impossíveis neste método, mas ele é exaustivo e sua utilização é enfadonha quando cresce o número de peças [Nevi89].

O próximo capítulo descreverá alguns métodos existentes para o PSM (planejamento da seqüência de montagem) e conseqüentemente para a geração das seqüências de montagem. A seção 6.10 também apresentará o método proposto por De Fazio e Whitney [Nevi89] para a geração de todas as seqüências de montagem possíveis.

3.4 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

A maneira mais conhecida e comum de se descrever a estrutura de um produto é através de desenhos. Esta representação é muito utilizada e fornece quase todas as informações necessárias para a realização do PSM.

Apesar disto, existem outras formas de se descrever a estrutura de um produto. Em certos casos elas podem ser mais interessantes por permitirem uma implementação computacional, auxiliar de uma maneira mais ativa no planejamento da fabricação ou promoverem a integração entre as fases de projeto do produto e do processo.

Existem muitos estudos que buscam o desenvolvimento de sistemas CAAPP (Computer Aided Assembly Process Planning), e todos eles necessitam de métodos eficazes para a descrição da estrutura dos produtos. A maior parte dos sistemas CAAPP ainda são muito específicos, não permitindo o seu emprego em casos mais complexos. Um obstáculo a ser vencido é a extensão destes sistemas a várias famílias de peças, diversificando assim os tipos de conexões que possam vir a ser avaliados. Mesmo assim o especialista humano ainda tem um papel de extrema importância, sem o qual torna-se impossível a utilização dos sistemas CAAPP atuais.

Com a atual tendência de diminuição dos lotes de fabricação e do tempo de ciclo de vida dos produtos, torna-se necessária uma adaptação cada vez maior dos produtos no sentido de facilitar a montagem, e de um planejamento a longo prazo (que deve iniciar já na fase de projeto conceitual). Este planejamento juntamente com a utilização de sistemas de montagem flexíveis, são as grandes armas para diminuição

dos custos de projeto e de fabricação, contribuindo assim para o aumento da produtividade.

A etapa que talvez seja a mais importante do PSM (juntamente com a implementação), é a geração e escolha da(s) melhor(es) seqüência(s) de montagem. Ela tem um papel importante no sentido de diminuir o índice de retrabalho, aumento da qualidade final, garantir a segurança dos operadores, obtenção de um bom balanceamento e diminuição do tempo total de montagem, através da minimização das operações improdutivas (fixações, orientações e deslocamentos).

Um dos pontos chave do PSM é a escolha da melhor seqüência de montagem. Após a geração de todas as seqüências de montagem possíveis, a escolha da melhor é geralmente uma tarefa árdua e requer uma série de análises e decisões que dependem da experiência do especialista. Para auxiliar esta atividade pode-se dispor de sistemáticas para a geração de todas as seqüências e de ferramentas que auxiliem na visualização do resultado obtido através de cada uma delas. A representação gráfica das seqüências auxilia na tomada de decisões e propicia uma série de análises como a avaliação da área necessária, alocação dos recursos, movimentação de materiais e tempo de montagem (tempo de ciclo, número de estações de trabalho, etc.).

No próximo capítulo estudaremos algumas abordagens existentes existentes para a realização do PSM, apontando seus pontos fortes e fracos. Vale destacar que os conceitos até aqui apresentados são essenciais para o correto entendimento do mesmo.

CAPÍTULO 4

ESTADO DA ARTE DO PSM

4.1 – INTRODUÇÃO

Diversas pesquisas já foram desenvolvidas explorando o PSM (Planejamento da Seqüência de Montagem). Muitas delas partem do mesmo princípio e diferenciam-se apenas por alguns detalhes relativos à implementação, experiência adquirida ou ainda pela aplicação desejada. Esta última refere-se principalmente ao tipo de montagem a ser realizada: manual, mecanizada ou automatizada.

Pode-se dizer que em geral utiliza-se a análise da desmontagem e algoritmos para a geração das seqüências de montagem, heurística ou experiência para avaliar as restrições e agrupamento visando à redução da complexidade do PSM. As diferenças mais significativas são notadas na implementação e apresentação dos resultados (geralmente sob a forma de diagramas).

Os trabalhos consultados foram agrupados dentro de três temas principais: abordagem gráfica, abordagem heurística e abordagem computacional. Trabalhos mais específicos ou complementares foram inseridos dentro de um quarto tópico denominado: outras abordagens.

4.2 – UTILIZAÇÃO DE GRÁFICOS PARA A REALIZAÇÃO DO PSM

4.2.1 – INTRODUÇÃO

Pode-se dizer que esta abordagem foi uma das primeiras a serem utilizadas para a realização do PSM e ainda é bastante empregada pelos engenheiros industriais. Dentro dela podem ser considerados os trabalhos de Mello e Sanderson [Mell86], Weule e Friedmann [Weul89], Dewhurst e Subramani [Dewh91], Chen e Henrioud [Chen94], entre outros.

Salvo alguns casos específicos, esta abordagem consiste basicamente de três etapas: geração, avaliação e escolha das seqüências de montagem (vide Figura 4.1). Durante a primeira etapa as seqüências de montagem são geradas com o auxílio de gráficos e análise da desmontagem do produto. Os gráficos mais utilizados são os diagramas de precedência (Seção 3.3.1.1), diagramas de ligação (Seção 3.3.1.2) e gráficos “e/ou” (Seção 3.3.1.3). Ainda existem outros tipos de gráficos como os apresentados por Whitney [Whit87] e Ullmann [Ullm92] e que nada mais são do que uma adaptação dos gráficos “e/ou”, e os diagramas de desmontagem propostos por Dewhurst [Dewh91].

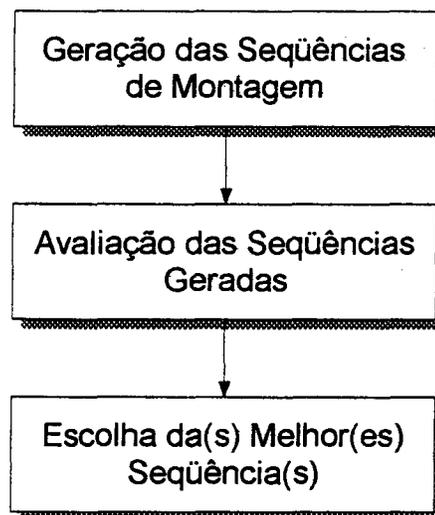


Figura 4.1 – Etapas básicas da abordagem gráfica para a realização do PSM.

A avaliação das seqüências é realizada em cima de diversos critérios (como tempos de montagem, ergonomia, balanceamento, entre outros), que podem ser classificados através de pesos conforme a sua influência na montagem do produto, e aos quais são atribuídas notas. Desta forma é possível adaptar os critérios de julgamento ao produto e tipo de montagem a ser realizado. A seção 5.2.4 apresenta nove critérios que podem ser utilizados para a avaliação das seqüências geradas.

A escolha da(s) melhor(s) seqüência(s) ocorre em função dos critérios preestabelecidos na segunda etapa. Realiza-se um somatório das notas atribuídas a cada um dos critérios para todas as seqüências possíveis, e escolhe-se a que melhor atender às exigências.

Com o intuito de diminuir o número total de seqüências a serem avaliadas, o especialista pode realizar uma análise baseada na experiência adquirida e eliminar todas as que sejam indesejáveis. Esta ação facilita as duas últimas etapas, permitindo que o mesmo concentre seus esforços no estudo das seqüências que apresentarem um maior potencial.

4.2.2 – EXEMPLO: REPRESENTAÇÃO DE PLANOS DE MONTAGEM ATRAVÉS DE GRÁFICOS “E/OU”

Este trabalho de Mello e Sanderson [Mell86] é freqüentemente citado em diversas obras que utilizam os gráficos “e/ou” para auxiliar no planejamento da montagem, servindo de base para a construção de sistemas computacionais para o PSM. Ele utiliza-se dos gráficos “e/ou” para a geração das seqüências de montagem e depois realiza uma análise sobre o tipo de operação e número de graus de liberdade das submontagens para a escolha das melhores seqüências.

Como já foi dito, os gráficos “e/ou” permitem explorar o espaço de todas as seqüências de montagem possíveis. Considera-se então que a seleção da melhor seqüência de montagem é um problema de procura dentro do espaço de todas as soluções possíveis.

Todo problema deste tipo requer um critério para comparação das soluções. Mello e Sanderson propuseram uma metodologia onde dá-se um peso a cada hiperarco. Este valor é proporcional à dificuldade de realizar-se a operação, sendo considerados fatores como tempo, requisitos de orientação e fixação, custo dos recursos envolvidos, confiabilidade, restrições e prioridades de produção. O peso total é obtido através da soma dos pesos de todos os nós de uma árvore de solução.

A Figura 4.2 traz o exemplo de um gráfico “e/ou” para um produto fictício composto de quatro peças. O nó principal (1) é aquele que descreve o produto montado. Existem quatro hiperarcos deixando este nó, cada qual corresponde a uma maneira através da qual o produto pode ser desmontado. De maneira análoga os outros nós também possuem hiperarcos, que correspondem às diversas maneiras através da qual o produto pode ser desmontado.

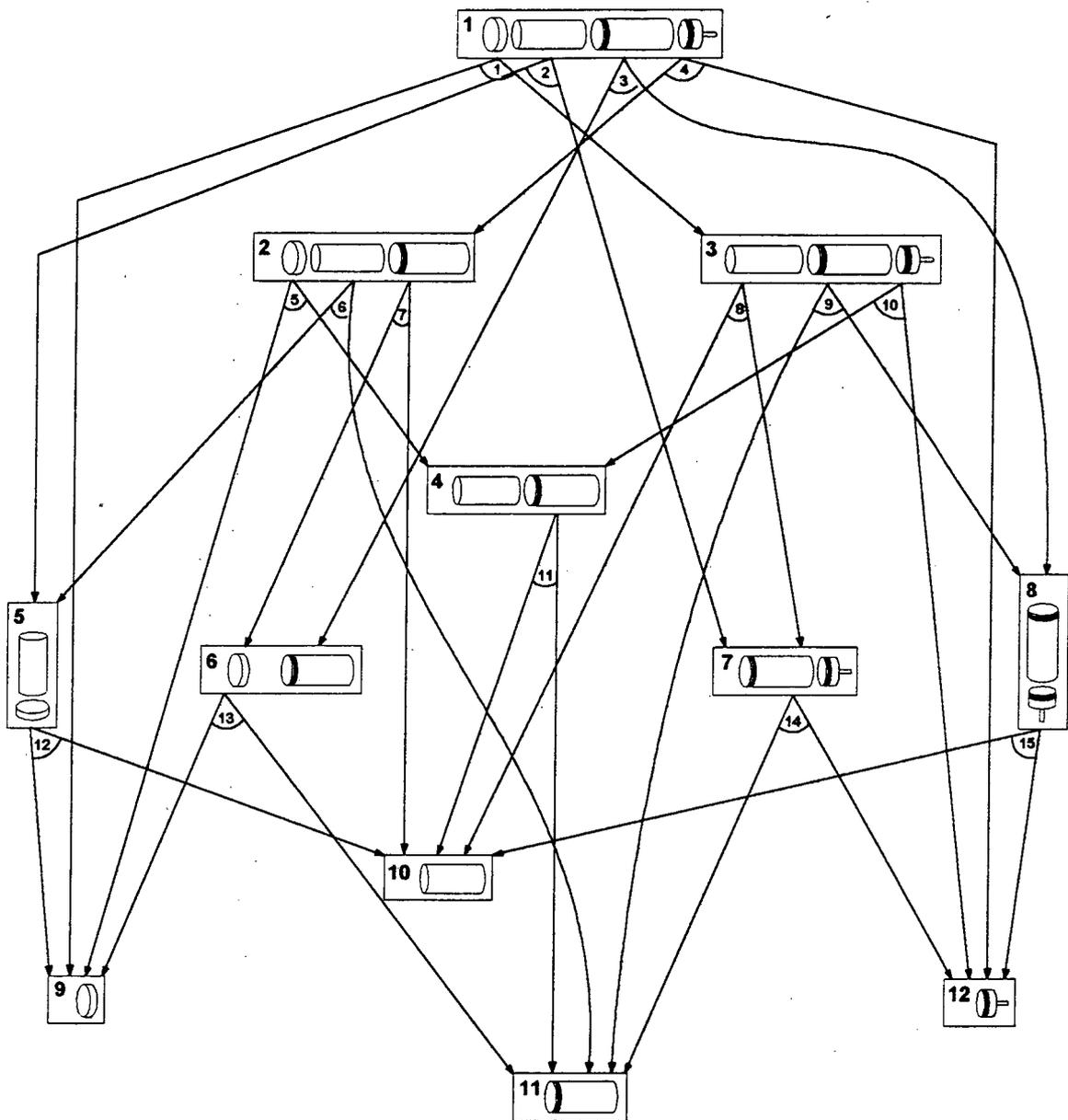


Figura 4.2 – Gráfico “e/ou” para um produto fictício composto de uma tampa, “stick”, receptáculo e manopla [Mell86].

Este diagrama possui um total de quinze hiperarcos que correspondem às diferentes operações de montagem. A Tabela 4:1 fornece o resultado da aplicação dos pesos nos hiperarcos. Nesta análise foram utilizados dois fatores [Mell86]:

- 1) Tipo da operação de montagem: peso 4 para operação de aparafusamento, peso 2, inserção e peso 1, posicionamento, de acordo com os tempos, elementos de fixação e requisitos de manipulação típicos;

- 2) Dificuldade de manipulação: proporcional ao número de graus de liberdade das submontagens; as que possuem mais graus de liberdade são mais instáveis e conseqüentemente de manuseio mais difícil;

Utilizando-se destes critérios chegou-se a conclusão de que as árvores representadas pelas seqüências de hiperarcos 14, 8,1 e 13,7,4; fornecem o menor peso total. A escolha final por uma das duas seqüências pode ser feita levando-se em consideração outros critérios como tempo de montagem, custo de implementação e ergonomia.

Tabela 4.1 – Distribuição dos pesos para os hiperarcos da Figura 4.4 [Mell86]

<i>Hiperarco</i>	<i>Tipo de Operação</i>	<i>Graus de Liberdade</i>	<i>Peso Total</i>
1	4	1	5
2	4	4	8
3	4	4	8
4	4	1	5
5	4	2	6
6	4	4	8
7	2	0	2
8	2	0	2
9	4	4	8
10	4	2	6
11	2	0	2
12	1	0	1
13	4	0	4
14	4	0	4
15	1	0	1

4.2.3 – SÍNTESE

De uma maneira ou de outra os gráficos estão presentes em quase todas as sistemáticas já desenvolvidas para a realização do PSM. Nos gráficos, além da visualização das seqüências de montagem, pode-se representar informações como o tempo de montagem e as relações de precedência. Esta abordagem ainda permite a geração e representação das seqüências de montagem de qualquer tipo de produto.

Através da representação gráfica também podem ser facilmente identificadas seqüências de montagem alternativas. Este fator é importante no caso de uma

montagem robotizada ou automatizada, onde o sistema de montagem pode automaticamente modificar a seqüência de montagem em função do estado atual do chão-de-fábrica.

A principal desvantagem desta abordagem é que ela torna-se complicada e exaustiva com o aumento do número de peças dos produtos. Consequentemente a probabilidade de erro também é maior, já que a análise das relações de precedência e a construção do gráfico é feita em cima das decisões tomadas por um especialista humano. Da mesma forma as etapas de avaliação e escolha também são dificultadas, tornando quase que obrigatória a sistematização das mesmas.

4.3 – UTILIZAÇÃO DA HEURÍSTICA PARA A REALIZAÇÃO DO PSM

4.3.1 – INTRODUÇÃO

Dentro do PSM a heurística é utilizada para a geração e redução do número total das seqüências de montagem. Enquadram-se nesta abordagem os trabalhos de Whitney e Fazio [Whit87], Heemskerk [Heem89], Mello e Sanderson [Mell91], Laperrière e ElMaraghy [Lape92], Qian e Pagello [Qian94] e Kanai et al [Kana96]. Apesar deste último trabalho já apresentar um sistema computacional, ele foi classificado dentro desta abordagem por fazer uso da heurística para a simplificação do PSM.

Se compararmos com a seção anterior, esta abordagem possui uma etapa paralela a geração e avaliação das seqüências de montagem: o agrupamento das peças (vide Figura 4.3). O agrupamento das peças visa reduzir o número de combinações possíveis e fornece a possibilidade de representar planos de montagem mais abstratos. Boneschanscher e Heemskerk [Bone89] definiram um grupo como sendo:

“Um conjunto de peças que possuem um inter-relacionamento lógico devido a detalhes de montagem em comum, através dos quais elas possam ser unidas. Um ponto chave, é que a seqüência de montagem dentro de um grupo não pode ser interrompida por peças estranhas ao mesmo. Dependendo do tipo de grupo, a

seqüência de montagem das peças deve ser fixa ou determinada em um estágio posterior”.

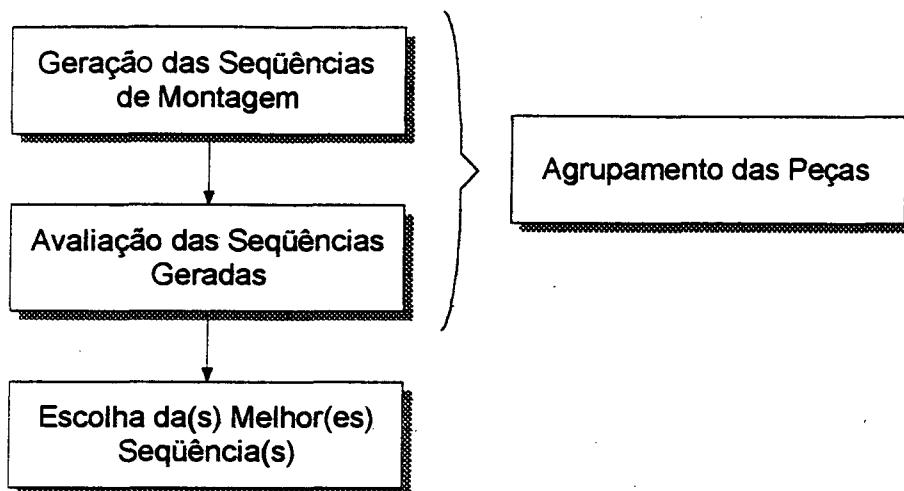


Figura 4.3 - Etapas básicas da abordagem heurística para a realização do PSM.

Através da formação de grupos de peças diminui-se consideravelmente a complexidade das etapas de geração e avaliação das seqüências de montagem. Cada grupo é considerado como uma peça, dentro do qual existe uma seqüência de montagem preestabelecida. Desta forma, para um produto de 10 peças (A, B, ..., J), com dois grupos de quatro peças cada (K e L), a análise é realizada primeiramente para os dois grupos e depois parte-se para a etapa final com um produto de apenas 4 peças (vide Figura 4.4).

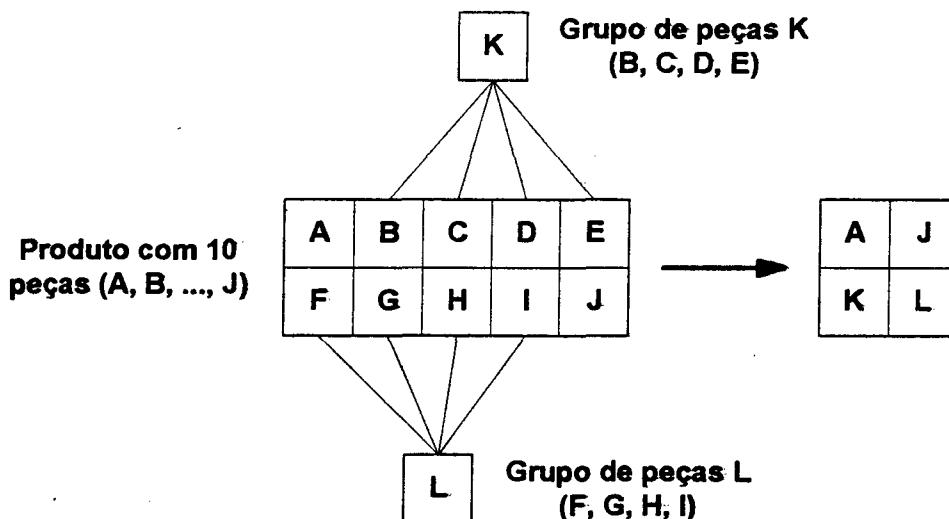


Figura 4.4 – Exemplo da simplificação obtida no PSM, através da utilização do conceito de grupos de peças.

Para a geração das seqüências de montagem, pode-se dispor de métodos gráficos, algorítmicos e da heurística. Considerando-se este último caso, o método de Whitney e De Fazio [Whit87] é um dos mais conhecidos. Ele é baseado nos diagramas de ligação e em uma série de perguntas relativas a cada uma das ligações demonstradas neste diagrama. Neste caso, a heurística é utilizada para determinar as relações de precedência e conseqüentemente na construção de um gráfico que engloba todas as seqüências de montagens possíveis para um determinado produto. Este método foi fundamentado no de Bourjault [Bour84], e foi aplicado no estudo de caso descrito no capítulo 6 (seção 6.10).

As etapas de avaliação e escolha seguem o mesmo princípio da abordagem anterior, mas pode-se dizer que de uma maneira mais estruturada, onde os critérios de avaliação são organizados em formas de regras/perguntas. Conforme Ogliari [Ogli96], regras heurísticas são desenvolvidas através da intuição, experiência e julgamento próprio. Elas não necessariamente resultam na melhor ou ótima solução, são de domínio público e evoluíram através dos anos pela experiência adquirida na resolução dos problemas. A seguir serão expostos dois exemplos extraídos de [Heem89]:

Heurística de Acessibilidade: visa eliminar as seqüências que possam resultar em colisões entre as peças/produtos. Exemplo de regra: a montagem da peça "A" impede a montagem de outra peça?

Heurística de Estabilidade: visa eliminar as seqüências que levem a submontagens instáveis. Exemplo de regra: Existem submontagens instáveis no produto?

Através desta sistemática, pode-se criar um banco de dados com regras relativas aos diversos critérios de avaliação. Algumas destas regras podem ser eliminatórias e diretamente descartar algumas seqüências "indesejáveis", como as que exijam grande número de elementos de fixação ou as que necessitam de diversas reorientações. Esta primeira análise, juntamente com a criação de grupos, contribui significativamente para a diminuição do número total de seqüências de montagem a serem avaliadas.

A escolha final é feita de maneira semelhante à abordagem gráfica, mas aqui os pesos são atribuídos aos critérios, que por sua vez também podem possuir pesos diferenciados para cada uma de suas regras. A diferença está no número final de

seqüências a serem avaliadas, que é reduzido, se comparado à abordagem anterior. Ainda existem outras formas de avaliação, como a proposta por Mello e Sanderson [Mell91], onde faz-se uso de duas funções heurísticas para a avaliação das seqüências de montagem geradas a partir de um gráfico “e/ou”.

4.3.2 – EXEMPLO: O USO DA HEURÍSTICA PARA O PSM

Heemskerk [Heem89] propôs um algoritmo que utiliza a heurística para a geração de planos de montagem em sistemas flexíveis. Este trabalho é a parte principal de um grande projeto desenvolvido pela “Delft University of Technology”, o Projeto Delft de Células de Montagem Inteligentes (“Delft Intelligent Assembly Cell Project – DIAC”).

O primeiro estágio desta abordagem é agrupar as peças com o objetivo de reduzir-se o número de combinações possíveis. Feito isto, utiliza-se da heurística para analisar as seqüências dentro de cada um dos grupos. O estágio seguinte consiste em eliminar algumas das seqüências geradas através de uma análise que utiliza as: “heurística de acessibilidade” e “heurística de estabilidade”. Finalmente os grupos, que possuem apenas seqüências parciais, são convertidos em uma estrutura que represente todas as alternativas de sequenciamento viáveis.

➤ **Dados de Entrada**

O processo descrito no parágrafo anterior foi implementado em um sistema computacional que utiliza os seguintes dados de entrada:

➤ Modelo de Produto: considera-se que cada peça possui uma identificação única, onde não se faz uma distinção física entre produtos, e sim funcional. Esta é uma consideração que evita montagens errôneas; pois se as peças forem montadas corretamente, elas também irão desempenhar bem as suas funções. Como exemplo pode-se citar a fixação de uma peça, onde não importa o meio de fixação (rebite, encaixe, parafuso) utilizado e sim que ele desempenhe a sua função de acordo com o previsto. Na estrutura global do produto cada peça é assumida como sendo rígida e sua posição pode ser completamente descrita com seis graus de liberdade. Ainda é feita uma distinção entre os relacionamentos com e sem contato;

➤ **Modelo de Processo:** o processo de montagem é modelado como uma seqüência de estados, cada um descrevendo a posição de todas as peças no produto e indicando as relações que foram estabelecidas entre as peças. Considera-se que o movimento de montagem só pode ser linear (montagem por encaixe ou deslizamento) ou espiral (parafusos, porcas);

➤ **Dados de Saída**

Os dados de saída são fornecidos em um diagrama de transição dos estados de montagem (Assembly State Transition Diagram – ASTD). Este diagrama pode ser encarado como um gráfico “e/ou” (seção 3.3.1.3), onde os nós representam os estados estáticos das peças e os arcos representam os processos de montagem necessários para passar de um estado a outro.

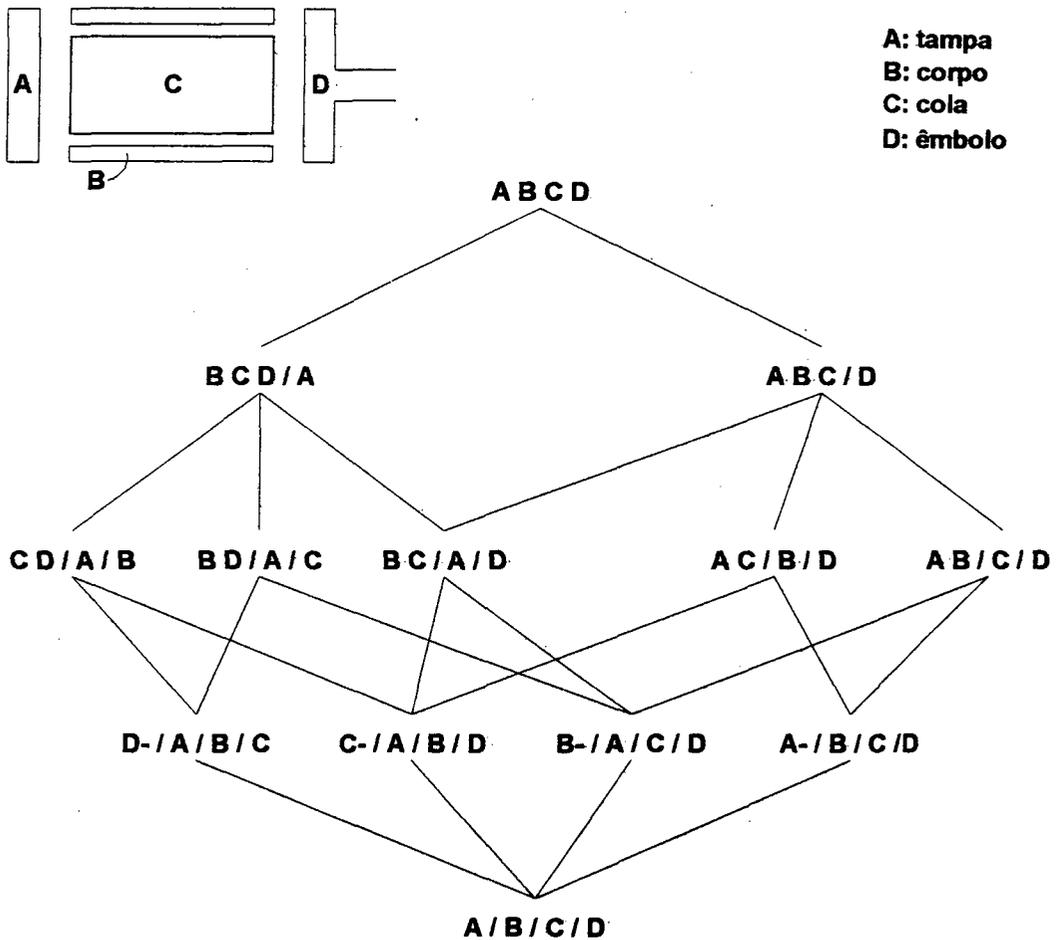


Figura 4.5 – Exemplo de um diagrama ASTD para um dosador de cola [Heem89].

A Figura 4.5 traz o exemplo de um ASTD para um dosador de cola. Note que já foram eliminadas algumas seqüências impossíveis, como a que resulta na montagem da peça "B" com a submontagem "ACD" e a da peça "C" com a submontagem "ABD".

O ASTD também é utilizado de uma outra forma durante o planejamento do processo, o ASTD em níveis (Layered Assembly State Transition Diagram – LASTD). No LASTD pode-se "esconder" certas peças em níveis ou grupos, tornando-o mais compacto e de fácil interpretação que o ASTD. A Figura 4.6 traz o LASTD para o dosador de cola da Figura 4.5 Repare que as transições com linhas duplas indicam a montagem de um grupo.

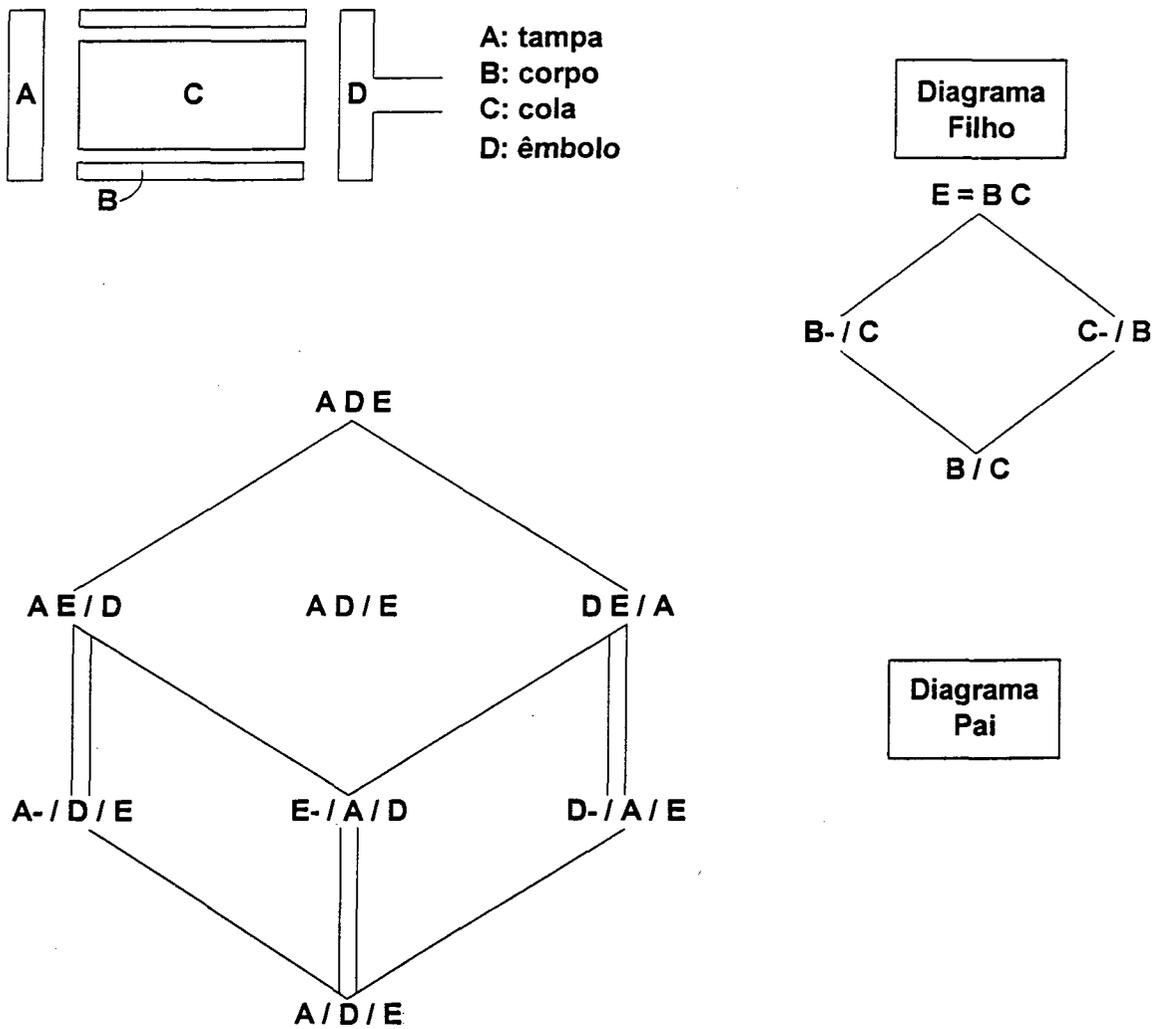


Figura 4.6 – Diagrama LASTD para o dosador de cola da Figura 4.4, com o agrupamento das peças B e C (adaptação da Figura 3 de [Bone89]).

A sistemática para a análise do PSM proposta por Heemskerk é interessante pois consegue unir de uma forma prática a abordagem gráfica com a heurística. A implementação computacional realizada, apesar de tratar-se de um protótipo, ainda tem muito a evoluir. Com relação a heurística, só foram implementadas três regras e com o desenvolvimento do sistema computacional, a tendência é melhorar o seu desempenho. A entrada dos dados é realizada de forma manual o que certamente dificulta a sua utilização, principalmente quando se pensa em produtos mais complexos e em famílias de produtos. Aspectos relativos ao sistema de montagem e a custos de montagem (principalmente o tempo de montagem) não foram devidamente abordados. Apesar disso, a natureza modular dentro da qual o sistema computacional foi concebido, pode permitir a correção das deficiências mencionadas.

4.3.3 – SÍNTESE

As duas grandes contribuições da abordagem heurística para o PSM são: reduzir a complexidade do processo de análise e conseguir absorver uma parte do conhecimento de um especialista humano através de regras. Apesar disto, ela também pode ser utilizada de maneira auxiliar na geração das seqüências de montagem como em [Bour84] e [Whit87].

Com a utilização da heurística, consegue-se absorver uma das maiores limitações do método gráfico, que é a complexidade de análise com o aumento do número de peças do produto. Desta forma, pode-se considerar que a abordagem heurística é complementar a gráfica. A confirmação deste fato é que a maior parte dos trabalhos baseados na abordagem heurística, também fazem uso de gráficos na etapa de geração das seqüências de montagem.

A introdução do conhecimento de um especialista humano, através de regras baseadas na experiência reduz, mas não exclui a necessidade de ter-se uma pessoa qualificada para a realização do PSM. Com a utilização de sistemas especialistas é possível chegar a um banco de dados adaptado a cada tipo de montagem, mas o cruzamento de informações relativas a montabilidade do produto, logística industrial, entre outras, ainda necessita da intervenção humana. A automatização deste processo de tomada de decisão exigiria um sistema especialista com um mecanismo de

inferência e uma base de conhecimento adaptadas a uma série de situações, tornando o seu desenvolvimento extremamente complexo e oneroso.

4.4 – UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS COMPUTACIONAIS PARA A REALIZAÇÃO DO PSM

4.4.1 – INTRODUÇÃO

A idealização de sistemáticas para a realização do PSM tem como principais objetivos a diminuição da probabilidade de cometer-se erros e a redução do tempo de implementação do processo de montagem. Este último, vem sendo conseguido através da utilização crescente de sistemas computacionais para automatização de algumas etapas do PSM. As pesquisas mais recentes englobam os elementos das duas abordagens anteriores, combinando-as com algoritmos e técnicas que permitam a sua implementação em sistemas computacionais do tipo CAAPP (Computer Aided Assembly Process Planning).

Esta abordagem engloba os trabalhos de Weule e Friedmann [Weul89], Tönshoff et al [Töns92], Swaminathan e Barber [Swam95], Keufman et al [Kauf96], Kanai et al [Kana96] e Mantripragada e Whitney [Mant97]. Note que as referências [Weul89] e [Kana96] já foram citadas nas abordagens anteriores, justamente por fazerem uso de gráficos e da heurística nos sistemas computacionais desenvolvidos.

Nesta abordagem, a entrada dos dados é normalmente feita manualmente, sendo que alguns sistemas computacionais já possuem uma interface com modelos em CAD. A geração das seqüências de montagem pode ser feita através de algoritmos matemáticos e normalmente utiliza-se da heurística para a determinação das restrições de montagem. A representação das seqüências de montagem geradas são, em grande parte dos casos, expressas através de algum tipo de gráfico. Convém salientar que representações como os diagramas de ligação, são freqüentemente utilizados como um dado de entrada para a geração das seqüências de montagem e determinação das restrições.

4.4.2 – EXEMPLO: PROJETO ORIENTADO PARA A MONTAGEM

Neste trabalho, Mantripragada e Whitney [Mant97] utilizam-se de uma série de conceitos para a construção de um sistema CAE interativo para o projeto simultâneo de linhas de montagem e produtos mecânicos. Sabendo-se da importância do conhecimento de variáveis como a seqüência de montagem, controle de qualidade e reatividade ao mercado; foram desenvolvidos alguns programas interativos para auxiliar a geração e avaliação de todas as seqüências de montagem possíveis.

Os programas utilizam-se da análise da desmontagem para a geração de seqüências de montagem e permitem uma assistência visual em tempo real durante a geração e avaliação. Os vários critérios implementados para destacar as seqüências desejáveis e indesejáveis incluem: evitar movimentos ou estados de montagem difíceis, estabilidade, fixação, orientação, número de fixações e orientações e inclusão de estados favoráveis [Mant97].

Após a entrada dos dados, o projetista pode fazer uso de um grande número de ferramentas e filosofias de auxílio a montagem para estudar e modificar o projeto, dentre elas:

- Projeto para a Montagem (PPM);
- Análise da seqüência de montagem;
- Planejamento do processo de montagem;
- Propagação de tolerâncias em montagens;
- Exploração de opções de teste e retrabalho;
- Desmontagem para reparos em campo;
- Projeto de produtos modulares;
- Definição de famílias de produtos baseada na troca de módulos ou peças;
- Simulações funcionais.

A configuração do sistema computacional proposto por Mantripragada e Whitney é apresentada na Figura 4.7. Repare que ele utiliza como dados de entrada um diagrama de ligação e o desenho das peças, que até o momento não é extraído de programas CAD comerciais. Interativamente o usuário (que deve possuir um bom

conhecimento no campo da montagem e a respeito do produto) entra com informações sobre a geometria do produto. A geração das seqüências de montagem é realizada através de algoritmos que utilizam-se de heurística para determinação das relações de precedência e a avaliação é feita em cima dos critérios mencionados anteriormente.

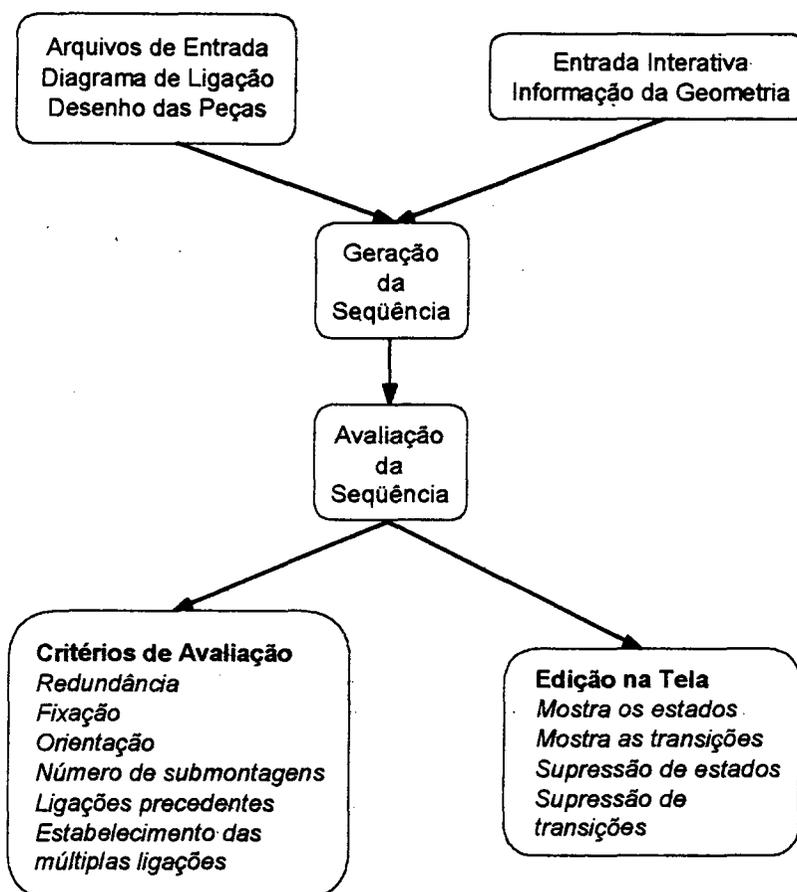


Figura 4.7 – Fluxograma que representa o sistema de geração e avaliação das seqüências de montagem [Mant97].

As duas principais etapas propostas são descritas a seguir:

➤ **Geração da Seqüência de Montagem**

O primeiro passo é a geração das relações de precedência a partir das restrições de geometria impostas pelo tamanho e forma das diferentes peças. Utiliza-se de uma análise baseada em uma representação gráfica dos contatos entre as peças, o diagrama de ligação (maiores detalhes seção 3.3.1.2).

Mantripragada e Whitney [Mant97] implementaram três diferentes algoritmos para gerar as relações de precedência, correspondendo aos: método modificado de

Bourjault, método “Cut-Set” e método “Onion-Skin”. Nestes métodos o projetista deve responder a determinadas perguntas com Sim/Não, conforme a possibilidade “e/ou” facilidade de se montar ou desmontar uma peça. Estas respostas são processadas gerando a lista de relações de precedência utilizada no diagrama de seqüência de montagem.

➤ **Avaliação da Seqüência de Montagem**

Após a determinação de todas as seqüências de montagem possíveis, deve-se determinar a(s) melhor(es) seqüência(s), baseado em alguns critérios pré-definidos. Dentro do sistema computacional implementado foram criadas duas classes para edição dos diagramas de seqüência de montagem: edição dos estados e transições, e edição baseada na fixação e orientação.

❖ ***Edição dos Estados e Transições***

Fazendo-se uma analogia aos gráficos “e/ou”, um estado pode ser comparado a um nó, onde as suas peças constituintes representam o estado de uma submontagem num determinado instante. Da mesma forma, as transições podem ser comparadas aos hiperarcos que descrevem as operações de montagem realizadas entre dois nós. O diagramas de seqüência de montagem utilizados neste sistema computacional, são os mesmos apresentados por Whitney [Whit87] e Ullmann [Ullm92].

Os diagramas de seqüência de montagem consistem de estados e transições que são combinados para formar todas as possíveis seqüências de montagem. Mantripragada e Whitney [Mant97] concluíram que a maior redução do espaço de solução se dá através da eliminação de estados, seguida respectivamente pela supressão de transições e das seqüências de montagem. Isto porque existem mais transições do que estados e mais seqüências do que transições, assim se eliminarmos um simples estado, estaremos automaticamente eliminando algumas transições e muitas seqüências. O detalhes de edição implementados no sistema computacional são os seguintes [Mant97]:

1. A maneira mais básica de editar um diagrama de seqüência de montagem é avaliar cada estado e transição, e eliminar aqueles indesejáveis. Quando esta opção é utilizada, o programa não auxilia na escolha, somente

permite visualizar as peças e conexões existentes nos estados e as mudanças que ocorrem nas transições. Como material de apoio pode-se dispor dos desenhos das peças e informações impressas sobre os estados e as transições. O sistema permite visualizar um determinado estado, visualizar uma determinada transição, suprimir um estado e suprimir uma transição;

2. Suprimir todos os estados que possuem submontagens múltiplas, com o objetivo de manter uma linha de montagem seqüencial. Isto se justifica já que na indústria a maior parte dos sistemas de montagens são seqüenciais. As peças são adicionadas uma após a outra em um componente base, e se submontagens forem utilizadas, são consideradas como peças;
3. Suprimir as seqüências de montagem redundantes. A redundância está associada com a ambigüidade na representação da seqüência de união de operações paralelas ou não seqüenciais. Imagine um produto composto de quatro peças A, B, C e D. Em adição as operações seqüenciais, existem aquelas paralelas como a montagem de A com B e C com D, cuja ordem de execução não é importante (salvo a existência de restrições). Sendo assim, uma destas seqüências de operações paralelas pode ser eliminada;
4. Supressão de movimentos onde um conjunto particular de uniões simultâneas são realizadas;
5. Especificar que um movimento particular de montagem deve imediatamente preceder outro.

❖ **Edição Baseada na Fixação e Orientação**

As fixações e orientações são movimentos de produção que adicionam custos mas nenhum valor ao produto, e usualmente são evitados nas montagens. Para avaliar-se estes critérios são necessárias um grande número de informações, e em função disto esta edição é deixada de lado até que se tenha realizado a edição inicial, baseada em movimentos de montagem e topologia do sistema de montagem.

O programa utiliza um algoritmo que identifica e ordena as seqüências de acordo com o menor número de fixações e orientações requeridas para o produto ir do estado inicial (desmontado) até o estado final (montado).

Baseado em todos os critérios anteriormente apresentados e com o auxílio proporcionado pela visualização do produto em cada um dos estados e das transições (antes e após cada transição), é possível determinar a(s) melhor(es) seqüência(s) de montagem para o produto em análise.

4.4.3 – SÍNTESE

A abordagem computacional veio para tentar agilizar o PSM, visando automatizar algumas etapas que são trabalhosas, como o estabelecimento e avaliação das seqüências de montagem geradas. Estas duas etapas normalmente dispensam um grande tempo de análise, e mesmo aplicando-se a heurística, elas tomam-se demasiadamente enfadonhas com o aumento do número de peças do produto.

Muitos dos sistemas computacionais desenvolvidos até o momento pecam por serem demasiadamente específicos, não permitindo a sua aplicação em produtos mais complexos ou famílias de produtos. Alguns pesquisadores tem obtido êxito através de uma fórmula simples, balancear o trabalho realizado pela máquina e pelo especialista humano. É o caso de Kaufman et al [Kauf96], com o desenvolvimento do sistema computacional "Archimedes 2" que já foi utilizado para realizar o PSM em produtos de 5 a 109 peças. A entrada dos dados geométricos é realizada através de um sistema CAD comercial, mas as informações como direções de inserção, contatos, ferramentas necessárias, entre outras, são realizadas pelo usuário. Como principais limitações encontram-se a consideração de que todas as peças são perfeitamente rígidas, engloba somente três operações de montagem e não possui critérios de avaliação claramente descritos.

A etapa de avaliação das seqüências de montagem geradas é talvez a mais difícil de ser automatizada, já que abrange um grande número de decisões que devem ser tomadas em cima de critérios que muitas vezes dependem do conhecimento de um especialista da área. Fatores como a política de logística a ser adotada, custos de montagem e implantação, não podem ser deixados de lado no momento da escolha por uma ou outra seqüência. A solução para este problema talvez esteja na utilização de

sistemas especialistas. Eles possuem um mecanismo de procura baseado em regras/perguntas (heurística) que são colocadas ao usuário e suas respostas interpretadas de uma maneira lógica. Outra vantagem dos sistemas especialistas é que pode-se inserir novas regras a qualquer momento, aumentando a sua capacidade de análise e adaptação a novas situações.

A maneira através da qual Mantripragada e Whitney abordaram o problema é extremamente interessante, já que eles conseguiram conceber um sistema computacional que aparentemente abrange um grande número de situações encontradas na prática, sem uma automatização completa do processo. O programa desenvolvido é interativo, permitindo que o conhecimento do usuário seja introduzido na análise em diversos pontos. Ele também oferece um auxílio gráfico onde o usuário pode imediatamente visualizar o impacto das decisões tomadas dentro de um diagrama de montagem ou através da representação gráfica do produto em um determinado instante.

4.5 – OUTRAS ABORDAGENS

4.5.1 – INTRODUÇÃO

O objetivo desta seção é demonstrar alguns trabalhos relacionados ao PSM, mas que não foram enquadrados em uma das abordagens anteriores. Alguns destes trabalhos tratam de assuntos específicos, podendo ser analisados como complementares as abordagens anteriores.

O problema da desmontagem do produto, visando o seu descarte no final do ciclo de vida, é abordado nos trabalhos de Weule e Spath [Weul94] e de Lenz e Geiger [Lenz96]. Com a preocupação crescente de preservação do meio-ambiente, o projetista deve não somente pensar no custo de fabricação do produto, mas também no custo de descarte do mesmo. Dentro desta ótica, um sistema computacional que auxilie no planejamento da desmontagem do produto já nas primeiras etapas de projeto, pode levar a redução dos custos de descarte do produto. Um produto reciclável e de fácil descarte também pode ser utilizado como fator de “marketing”, já que a preocupação dos consumidores com os aspectos relativos a natureza é crescente.

Durante a implementação de sistemas computacionais para a realização do PSM, é comum os envolvidos considerarem que as peças constituintes dos produtos são rígidas. Tendo em mente que componentes como molas, mangueiras, pequenas peças plásticas, peças de borracha, elementos de vedação, entre outros, são comuns em produtos mecânicos, podemos concluir que esta simplificação pode levar a interpretações errôneas do problema do PSM. Apesar de um tanto quanto teórico, o trabalho realizado por Kroll e Wolter [Krol96], abordando o aspecto do PSM para peças flexíveis, já demonstra uma preocupação por este assunto.

A seguir será apresentado um trabalho que faz uso de Redes de Petri para o modelamento dos parâmetros de um sistema de montagem, incluindo operações de teste.

4.5.2 – EXEMPLO: MODELAMENTO DE SISTEMAS DE MONTAGEM ATRAVÉS DE REDES DE PETRI

Bourjault, Djemel e Lutz [Bour94] propõem a utilização de Redes de Petri para a determinação de parâmetros dos sistemas de montagem (tempo de ciclo, tempo por estação de trabalho, etc). O método LAB's (Laboratory of Automation of Besançon) permite a análise de famílias de produtos e trata aspectos da qualidade por meio de operações de teste. As famílias de produtos são modeladas através de Redes de Petri temporizadas e coloridas, enquanto que as operações de teste são representadas por Redes de Petri estocásticas.

A Figura 4.8 mostra as quatro etapas principais do método LAB's. Elas apresentam diferentes maneiras de se realizar a análise em uma família de produtos através da geração de planos de montagem, e como integrar estratégias de testes neste modelo.

A aplicação das Redes de Petri se dá na terceira etapa do método LAB's, onde se realizam simulações temporais dos sistemas de montagem. A partir dos planos de montagem gerados na segunda etapa, e com as estações de trabalho, equipamentos e atividades já determinados, constroem-se Redes de Petri para realizar a simulação dos sistemas de montagem.

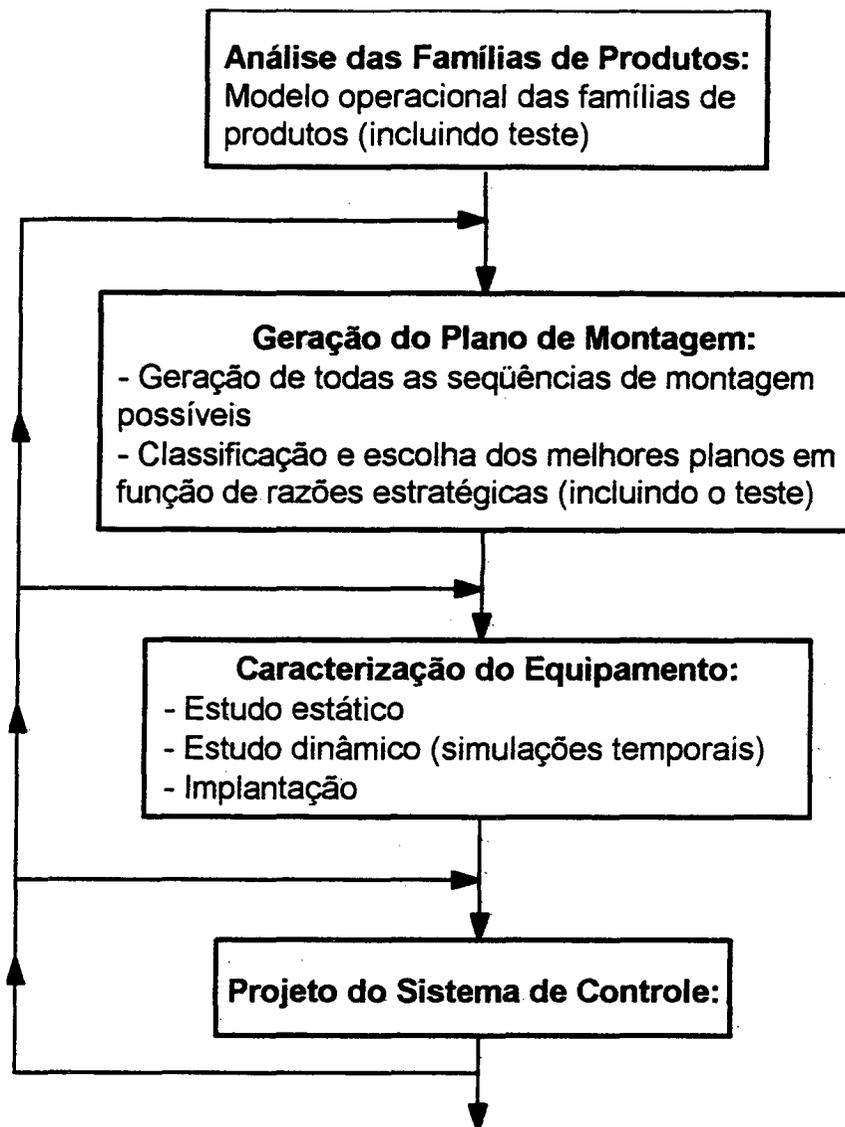


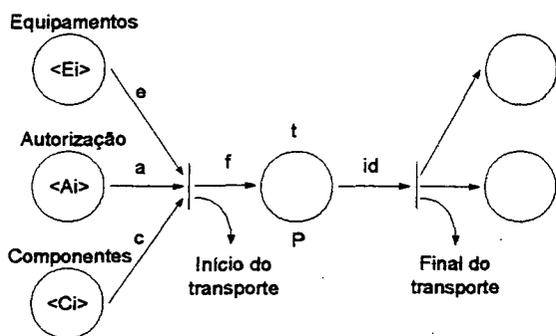
Figura 4.8 – Estrutura do método LAB's para o projeto e estudo de sistemas de montagem [Bour94].

Após a definição do sistema de montagem é necessário verificar o seu desempenho dinâmico. Cada operação elementar de montagem é modelada por uma Rede de Petri elementar temporizada. A representação de famílias de produtos se dá através da introdução do conceito de Redes de Petri coloridas.

Para modelar as operações de teste é necessário dispor-se de Redes de Petri coloridas, temporizadas e estocásticas. A temporização permite representar o desempenho do teste com relação a sua duração. As cores mostram o resultado das operações de teste. O aspecto estocástico possibilita simular o evento de um componente defeituoso, que é na realidade um evento randômico [Bour94].

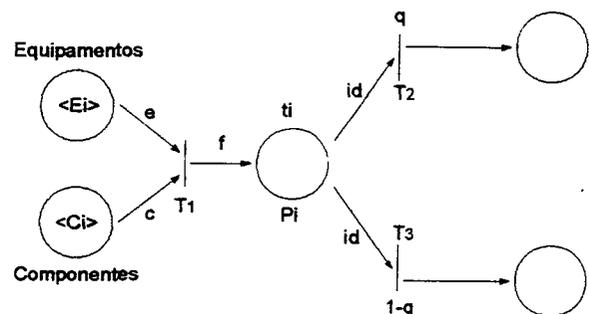
Na Figura 4.9 (a) a operação de posicionamento é representada pelo espaço “P” e pelo tempo “t”. A operação inicia quando o equipamento “e” estiver disponível, o componente “c” pronto e houver uma autorização “a”. Quando a operação for completada, o equipamento estará novamente disponível e o componente em uma nova localização.

A Figura 4.9(b) representa uma operação de teste não destrutivo, onde “Pi” e “ti” são, respectivamente o espaço e o tempo de operação. Para iniciar a operação devemos ter o equipamento disponível e um componente pronto. Após o tempo de operação “t”, o resultado do teste pode ser que o componente está bom “q” ou ruim “1-q”. Estes dois resultados são representados através do conflito entre a transição T2 e a T3 (aspecto estocástico da Rede de Petri).



t é o tempo associado ao espaço P, id é a identidade e f é a ficha disparada para a realização da operação de posicionamento

(a)



ti é o tempo associado ao espaço P, id é a identidade e f é a ficha disparada para a realização da operação de teste

(b)

Figura 4.9 – Representação de operações de posicionamento (a) e de um teste não destrutivo (b) através de Redes de Petri (adaptação das Figuras 9 e 11 de [Bour94]).

As demais operações de montagem podem ser representadas da mesma forma, sendo que o conjunto de todas as Redes de Petri é capaz de modelar o comportamento do sistema de montagem em relação ao tempo.

Através deste método é possível antecipar o comportamento do sistema de montagem com relação às operações de teste, e determinar se a sua realização é economicamente viável. As simulações são feitas em termos da importância das operações de teste e da taxa de defeito dos equipamentos. As avaliações de custo e de retrabalho devem ser realizadas em paralelo.

4.5.3 – SÍNTESE

Determinados produtos possuem características particulares que diferenciam a maneira através da qual devemos tratar o problema do PSM. Produtos que possuem componentes flexíveis, por exemplo, requerem uma análise diferenciada para estes componentes. Montagens que envolvam peças com tolerâncias estreitas, também podem necessitar de uma abordagem diferenciada para o tratamento do PSM.

Em função do acima exposto, identificou-se a necessidade de tratar de uma maneira diferenciada algumas situações dentro do PSM. As abordagens gráfica, heurística e computacional, procuram tratar o problema da montabilidade de um produto de uma maneira mais genérica. Os exemplos descritos nesta seção servem para complementar as abordagens anteriores, servindo como uma ferramenta de análise complementar para cada situação encontrada.

O problema do PSM é extremamente complexo, e torna-se difícil compor uma única abordagem para a sua resolução. O mais sensato é dispor de uma série de ferramentas de análise, e utilizá-las quando for conveniente. O que deve ser feito em cada situação não é uma decisão fácil de ser tomada, e salvo algumas situações, depende da experiência do especialista e de sua habilidade em identificar os fatores importantes dentro de cada análise.

4.6 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como pode-se verificar, o PSM é tema de diversas pesquisas e vem ganhando uma importância cada vez maior dentro das empresas. Sabe-se que a competitividade vem forçando as empresas a reduzirem custos em todas as áreas, e a fabricação (neste caso a montagem) é um local estrategicamente importante nesta tarefa. Com esta visão o projeto do produto e de seu processo de fabricação/montagem torna-se de extrema importância.

A Tabela 4.2 apresenta um comparativo entre as três principais abordagens anteriormente apresentadas para a realização do PSM. Foram escolhidos sete critérios de comparação, a saber:

- Tempo de análise: é o tempo necessário para a realização do PSM;

- Investimento necessário: refere-se ao capital necessário para utilização das ferramentas apresentadas por cada uma das abordagens;
- Custo de utilização: envolve o montante exigido para a aplicação de cada uma das abordagens, incluindo o custo de mão-de-obra;
- Adaptação a mudanças: refere-se à facilidade com que as abordagens apresentadas adaptam-se a situações não previstas durante o início do projeto;
- Aplicação em famílias de produtos: analisa a possibilidade de aplicação das abordagens a mais de um produto de cada vez. É o caso de linhas de montagem não dedicadas;
- Aplica-se a todos os casos: verifica a possibilidade de adaptação da abordagem a qualquer tipo de produto existente, independentemente de sua complexidade, sistema de montagem a ser empregado e capital disponível;
- Nível de desenvolvimento: indica se abordagem já foi suficientemente explorada “e/ou” o seu potencial de desenvolvimento futuro.

A cada um dos critérios foi atribuído um peso “P” que pode variar de 1 a 5, sabendo-se que quanto maior o peso, mais importante é o critério. Da mesma forma procura-se avaliar qualitativamente cada uma das abordagens com relação aos critérios pré estabelecidos. Esta avaliação é feita através de notas “n” que exprimem a maneira como as abordagens cumprem os critérios (1-satisfatório, 2-bom e 3-muito bom). O resultado final para cada uma das abordagens foi obtido através da somatória do produto das notas e pesos atribuídos a cada um dos critérios avaliados.

Analisando-se a Tabela 4.2 pode-se notar que a abordagem heurística cumpre de uma maneira mais homogênea todos os critérios, e portanto obteve a maior pontuação. A abordagem gráfica aparece em terceiro, e devido ao seu baixo potencial de desenvolvimento ela deve se incorporar as outras duas. Já a abordagem computacional aparece em segundo, e provavelmente daqui a algum tempo já deva ultrapassar a heurística. Esta é a tendência, visto que a abordagem computacional apresenta um alto potencial de desenvolvimento, e incorpora as ferramentas utilizadas

nas outras abordagens. A dificuldade está na automatização de certas atividades como a etapa de avaliação e torná-la aplicável a uma grande diversidade de produtos.

É certo que com o aplicação da abordagem computacional muitas atividades foram automatizadas, reduzindo-se sensivelmente a participação humana em todo o processo. Mesmo assim, as três abordagens ainda necessitam de um especialista humano para a realização do PSM.

Se observarmos as abordagens de um ponto de vista cronológico, podemos facilmente notar que a abordagem gráfica é a precursora das outras duas e que a abordagem computacional é uma evolução da heurística. Mesmo assim ainda existe uma razão para realizarmos uma distinção entre as mesmas, já que cada uma delas ainda é utilizada na prática.

As três abordagens podem ser utilizadas para o planejamento da seqüência de montagem, mas nenhuma delas apresenta de uma maneira clara todas as etapas que envolvem o PSM. Existem importantes fatores como o sistema de montagem a ser empregado e as restrições de montagem que são apenas citados, sendo que na maior parte dos casos estes fatores são de suma importância no resultado final. De uma maneira geral falta caracterizar o ambiente no qual o processo se desenvolve e adaptá-lo a nossa realidade industrial. Em função disto, a seguinte pergunta é inevitável:

Como realizar o PSM de uma maneira sistemática e prática, dentro de nossa realidade industrial?

A resposta pode estar no desenvolvimento de uma sistemática que combine ferramentas já conhecidas, com a experiência das pessoas (julgada até o momento como indispensável nesta área). Hoje em dia os engenheiros industriais baseiam-se basicamente na experiência durante o PSM, e a utilização de uma sistemática de trabalho, aliada ao conhecimento da atividade em análise, podem trazer resultados expressivos. Trabalhando de uma maneira sistemática diminui-se a probabilidade de erros e o tempo total de estudo. Além disto, não podemos esquecer que já existem programas computacionais comerciais que auxiliam e minimizam o tempo de execução de algumas etapas do PSM. O Capítulo 5 traz a proposição de uma sistemática para a resolução deste problema.

Tabela 4.2 - Tabela Comparativa entre as três principais abordagens identificadas para a realização do PSM

Critérios de Avaliação	Peso (R)	Abordagem Gráfica		Abordagem Heurística		Abordagem Computacional	
		Observações	n	Observações	n	Observações	n
Tempo de análise	5	Torna-se extremamente elevado com o aumento do número de peças	1	Através da aplicação de regras heurísticas, reduz-se a um nível aceitável	2	Apresenta o menor tempo de análise das três abordagens	3
Investimento necessário	3	Baixo, porém deve-se dispor de uma pessoa com conhecimento teórico e grande experiência	3	Idem a abordagem gráfica	2	Possui um alto custo de aquisição ou desenvolvimento	1
Custo de utilização	4	Elevado devido a necessidade de mão-de-obra especializada	1	Menor do que a abordagem gráfica, mas ainda é alto	2	Possui o menor custo de utilização das três abordagens	3
Adaptação a mudanças	2	Adapta-se facilmente às mudanças, porém o tempo de recuperação é elevado	2	Adapta-se facilmente através da introdução de novas regras	2	Os sistemas pesquisados não adaptam-se facilmente às mudanças	1
Aplicação em famílias de produtos	3	Sem restrições	3	Sem restrições	3	São poucos os casos existentes	2
Aplica-se a todos os tipos de produtos	4	Torna-se enfadonho com o aumento do número de peças	1	Sem restrições	3	Os trabalhos pesquisados apresentam restrições relativas ao tipo e número de peças, além de utilizarem poucos critérios de avaliação	1
Nível de desenvolvimento	5	Praticamente esgotado	1	Existe um potencial constante de desenvolvimento, através da determinação de novas regras heurísticas	2	Grande potencial. O desafio é conciliar de uma maneira racional o conhecimento do especialista com as atividades a serem automatizadas	3

40

59

57

3°

1°

2°

n = 1, 2 e 3 (satisfatório, bom e ml) Peso = 1, 2, 3, 4 e 5 → melhor

CAPÍTULO 5

SISTEMÁTICA PROPOSTA PARA O PSM

5.1 – INTRODUÇÃO

Este capítulo tem como objetivo a apresentação da sistemática proposta para a realização do PSM. Esta sistemática visa fornecer um suporte ao desenvolvimento de projetos ligados a área de montagem e promover a integração entre as atividades de projeto do produto e de seu processo de montagem.

A sistemática aqui apresentada é genérica e apresenta todas as atividades que envolvem o PSM de uma forma organizada. Desenvolveu-se a sistemática a partir do levantamento do estado da arte, do estudo prévio realizado sobre a montagem e apoiando-se no conhecimento prático obtido neste ramo de atividade.

Apesar de existir uma série de ferramentas e metodologias, tais como o PPM, o conhecimento ainda não foi muito difundido e sua aplicação pode parecer difícil para a maioria das pessoas. Pode-se dizer que o PSM é um problema antigo, que ainda possui a conotação de um novo problema. Os mais experientes nesta área realizam o PSM de uma forma intuitiva, dificultando o aprendizado pelos demais. Através da sistematização do PSM busca-se minimizar a probabilidade de erros e o tempo total de desenvolvimento, além de divulgar estes conceitos a outras áreas, tais como projeto e qualidade, tornando mais fácil a aplicação da engenharia simultânea.

5.2 – SISTEMÁTICA PROPOSTA

O PSM pode ser realizado a partir de quatro situações distintas (vide Figura 5.1). Após a definição dos objetivos da empresa com o produto em questão, começam uma série de atividades ligadas ao desenvolvimento do produto e dos processos envolvidos na fabricação do mesmo. Quando se aplica os princípios da engenharia simultânea, realizando estas duas atividades paralelamente, e através de grupos multifuncionais, consegue-se diminuir o número de modificações de projeto e aumentar a produtividade.

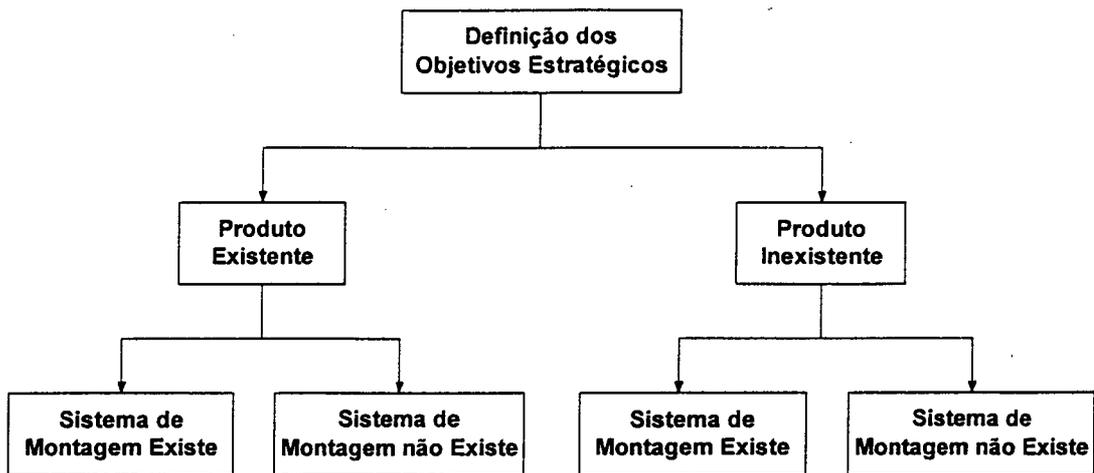


Figura 5.1 – Situações a partir das quais o PSM é realizado.

Conforme visto na seção 3.1, os melhores resultados são os obtidos quando não existem produto nem sistema de montagem. As duas situações intermediárias, onde ou o produto ou o sistema de montagem existem, também oferecem resultados satisfatórios e podem ser tratadas de maneira semelhante. Quando ambos, o produto e o sistema de montagem existem, o PSM torna-se uma tarefa mais difícil e exige do especialista que não possui tantas variáveis disponíveis.

A partir do levantamento do estado da arte do PSM, foi possível observar alguns pontos importantes:

- Analisando-se as diversas pesquisas realizadas, foi possível identificar e organizar as atividades centrais do PSM. Apesar de não estarem descritas e apresentadas de uma forma clara, detectou-se uma semelhança entre as atividades desenvolvidas e a ordem na qual as mesmas são realizadas. Estas atividades encontram-se destacadas com linha tracejada na Figura 5.2;
- Além das atividades centrais que vão desde a geração das seqüências de montagem até a escolha da melhor delas, existem outras atividades que devem ser necessariamente realizadas e que não foram apresentadas de uma maneira clara em nenhum dos trabalhos pesquisados. Dentre elas pode-se citar a análise das restrições e as considerações sobre logística e movimentação de materiais;

- Não existe um “guia” que auxilie a conduzir estas atividades, apresentando os principais fatores a serem considerados em cada uma delas. Grande parte deste conhecimento ainda é privilégio dos especialistas que na maior parte dos casos o adquiriram através da experiência;
- Devido à falta de uma sistemática na realização do PSM, a sua integração com outras atividades, principalmente com a de projeto, fica comprometida. Isto reflete-se em modificações de projeto para atender aos requisitos de fabricação e um conseqüente atraso no projeto e industrialização do mesmo;
- Para facilitar a aplicação destes conceitos na indústria, é necessário formatá-los de acordo com a nossa realidade industrial.

Com o objetivo suprir estas lacunas, desenvolveu-se a sistemática proposta na Figura 5.2. Ela engloba todas as principais atividades que devem ser realizadas durante o PSM e possui um caráter genérico, o que significa dizer que pode ser aplicada a montagem em série de qualquer produto e adaptada a realidade de qualquer tipo de empresa.

Pode-se facilmente notar que o PSM não é um processo linear, ou seja, diversas atividades são desenvolvidas em paralelo e uma série de decisões devem ser tomadas quase que ao mesmo tempo. Os critérios adotados na tomada destas decisões são variados e tornam esta atividade tão complexa e dependente da experiência do especialista. Estas decisões, sempre que possível, devem ser tomadas por um grupo multifuncional e composto de pessoas que tenham um bom conhecimento do produto e de todos os processos envolvidos na manufatura do mesmo.

Avaliando-se a Figura 5.2 não é difícil constatar que a maior parte das atividades envolvidas no PSM já foram discutidas nos capítulos precedentes, e que aqui encontram-se agrupadas de maneira a facilitar o entendimento e a integração entre as mesmas. Nas próximas seções serão apresentados os principais passos de cada atividade e quais os critérios a serem adotados na tomada das decisões.

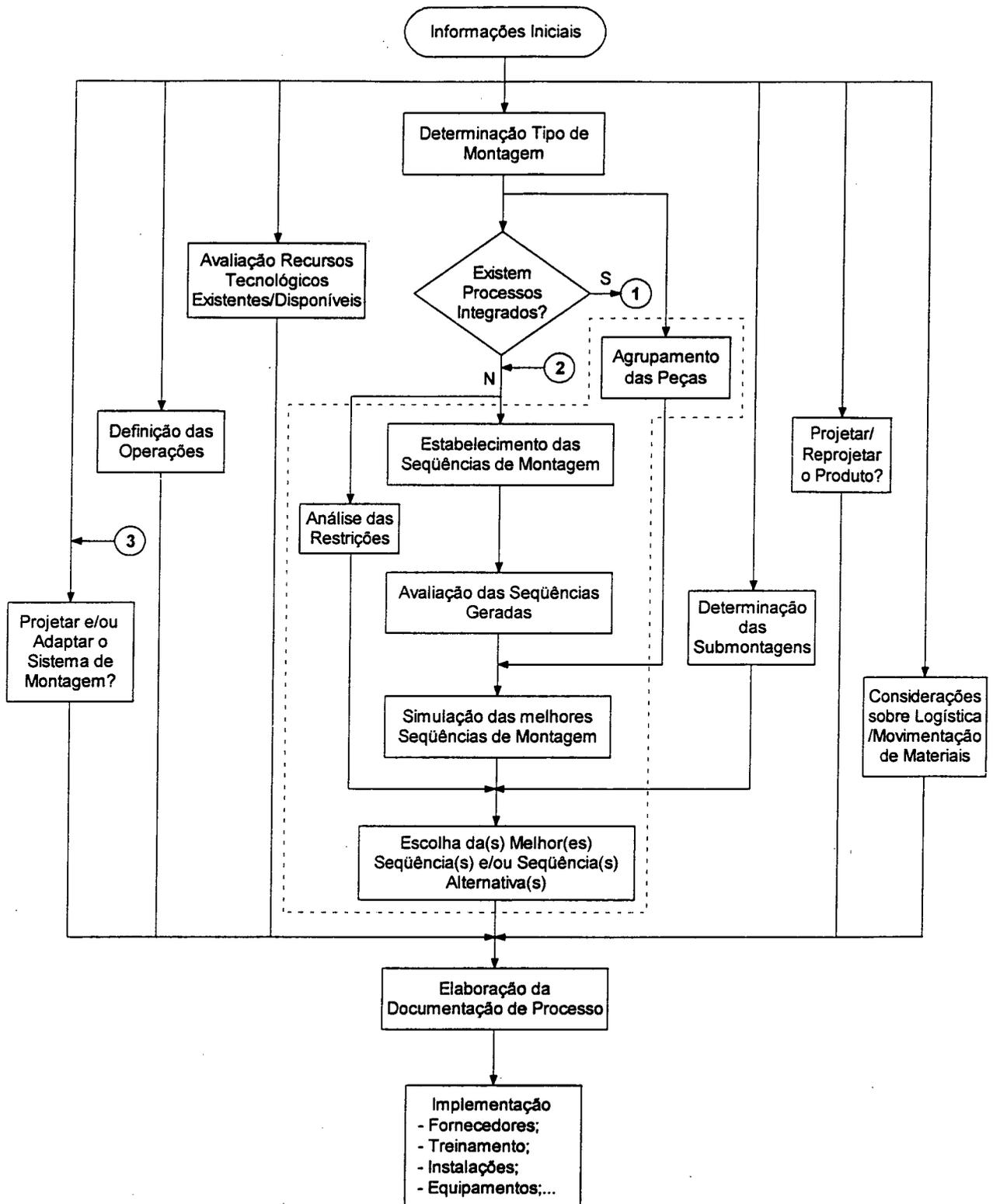


Figura 5.2 – Sistemática proposta para a realização do PSM.

5.2.1 – INFORMAÇÕES INICIAIS

As decisões nesta etapa inicial geralmente são tomadas pela diretoria da empresa, tendo em vista os objetivos estratégicos do grupo e as condições do mercado. A partir destas informações iniciais começam a ser desenvolvidas uma série de atividades que envolvem as mais diferentes áreas. Até algum tempo atrás não era comum a participação de representantes da fabricação nesta etapa, mas com o passar do tempo percebeu-se que a fabricação possui um papel fundamental na redução do custo final do produto e a sua participação é cada vez mais freqüente.

Estas informações servem de entrada para a realização do projeto do produto e do processo. Os projetistas procuram traduzi-las em especificações de projeto, enquanto que os engenheiros industriais buscam o projeto de sistemas de fabricação que permitam a sua produção dentro dos volumes, custos e qualidade exigidos. É de fundamental importância que a integração entre estas duas atividades aconteça nesta etapa, de maneira a clarificar as dificuldades de cada uma delas e buscar uma solução que possa atender da melhor maneira possível o que foi solicitado.

5.2.2 – DETERMINAÇÃO DO TIPO DE MONTAGEM

A determinação do tipo de montagem a ser empregada está associada ao sistema de montagem e a sua configuração. Ao final desta etapa deve-se saber se o tipo de montagem a ser empregado será manual, mecanizada, automatizada ou flexível. As informações necessárias para realizar esta análise são basicamente: produto a ser montado, capacidade de produção, ciclo de vida do produto e capital disponível.

A escolha do sistema de montagem que será utilizado é de grande importância, e deve ser realizada com muito cuidado. Ela depende de uma série de fatores que devem ser cautelosamente avaliados, de maneira que se atinja uma perfeita harmonia entre os objetivos da empresa, o produto e o próprio sistema de montagem a ser utilizado.

Dentre esses fatores destacam-se as características e a própria estrutura do produto, pois o processo de montagem é basicamente dirigido pelos componentes do produto, seu tipo de construção e o grau de integração requerido com outros

processos. A existência de variantes e o planejamento de novas gerações do produto são preponderantes para a determinação da flexibilidade do sistema.

Outro fator a ser avaliado é se o sistema de montagem deve ou não ser automatizado, ou ainda possuir alguma configuração intermediária como a montagem mecanizada. Esta escolha pode-se dar pela complexidade do produto, já que quanto mais complexo for o produto, teoricamente, mais difícil e conseqüentemente cara será a automatização de seu processo de montagem.

A quantidade a ser produzida também é determinante nesta escolha, pois na medida que o número de unidades a serem produzidas torna-se maior, a automatização apresenta-se como uma eficiente maneira de se reduzir custos e aumentar a produtividade. Determinar a quantidade a partir da qual a automatização torna-se viável não é uma tarefa trivial, e requer uma série de análises dos diversos sistemas de montagem possíveis e sua integração com outras atividades como: movimentação de materiais, manutenibilidade, alimentação das peças, recursos humanos, sistema de informação e espaço físico necessário.

Além de todos os fatores anteriormente mencionados, os objetivos específicos da empresa em relação ao produto também são preponderantes, principalmente no que diz respeito ao capital a ser investido, expectativa de venda e ciclo de vida do produto. Este último, se for muito curto (que é a atual tendência) pode inviabilizar a automatização, ou levar a utilização do conceito de sistemas de montagem flexíveis.

5.2.3 – PROCESSOS INTEGRADOS

Conforme mencionado na seção 2.4.1, é comum integrar processos distintos ao sistema de montagem. Isto geralmente acontece por razões econômicas ou construtivas. A análise é quase que totalmente feita em cima do produto e dos meios disponíveis para a sua fabricação. A integração normalmente é uma necessidade, pois a realização destes processos anteriormente ou posteriormente a montagem de certas peças, pode inviabilizar a fabricação final do produto.

É importante conhecer a existência de processos integrados já nas primeiras etapas do PSM, já que todo o processo de montagem é regido pelos componentes do produto, tipo de construção (concepção do produto) e integração requerida com outros

processos. Além do mais, os processos integrados geralmente necessitam de uma área considerável, energia e fluxo de informações; características que dificultam e encarecem modificações no seu posicionamento dentro do sistema de montagem. A Figura 5.3 complementa a 5.2, e traz um esquema generalizado dos passos a serem seguidos nos casos onde houver a integração de processos a montagem.

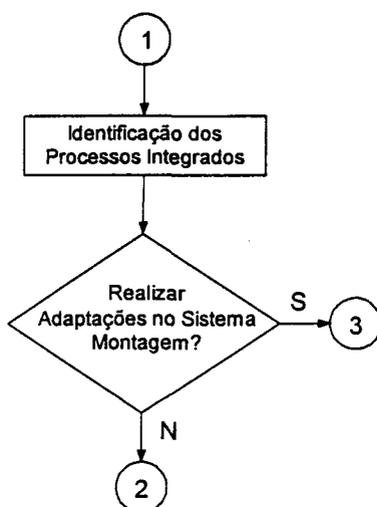


Figura 5.3 – Esquema generalizado da integração de processos na montagem (complemento da Figura 5.2).

A título de exemplo pode-se citar a fabricação de motores elétricos na WEG Motores S.A., maior fabricante de motores elétricos da América Latina, sediada em Jaraguá do Sul, interior de Santa Catarina. Em cada uma de suas quatro fábricas existe a integração das atividades de teste, pintura e empacotamento dentro da montagem final dos motores elétricos. Esta integração pode ser genericamente ilustrada a partir da Figura 5.4. Após a montagem dos componentes básicos o motor passa por uma cabine de teste e em seguida são colocados os últimos componentes. Logo após ele passa por uma cabine de pintura, é embalado e enviado a expedição.

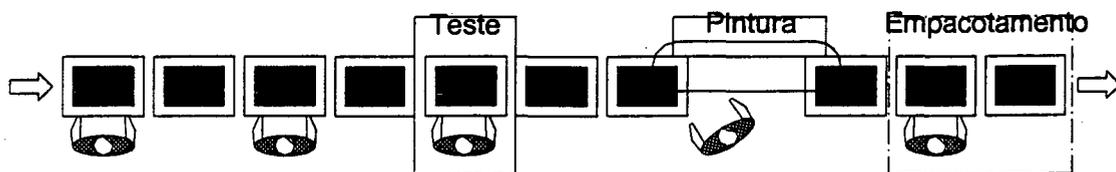


Figura 5.4 – Representação esquemática de uma linha de montagem de motores elétricos, contendo a integração dos processos de teste, pintura e empacotamento.

5.2.4 – GERAÇÃO, AVALIAÇÃO, SIMULAÇÃO E ESCOLHA DA(S) MELHORE(S) SEQÜÊNCIA(S)

Após o estabelecimento dos objetivos estratégicos pela diretoria, determinação do tipo de montagem a ser empregado e verificação da existência, ou não, de processos integrados, começam as tarefas que podem ser consideradas como a rotina do engenheiro industrial. Elas são realizadas toda vez que ocorre uma modificação no produto, mudança no “mix” de produção ou no balanceamento.

Observando-se a Figura 5.2, não é difícil notar que existem outras oito atividades que são realizadas em paralelo, desde o estabelecimento das informações iniciais até a escolha da(s) melhor(es) seqüência(s) e/ou seqüência(s) alternativa(s). Também deve-se perceber que três delas possuem uma ligação mais estreita com as atividades de geração/estabelecimento, avaliação, simulação e escolha da(s) seqüência(s) de montagem; a saber: agrupamento das peças, determinação das submontagens e análise das restrições. Estas últimas contribuem para a redução do número final de seqüências possíveis, simplificando o processo como um todo.

Todas estas atividades deverão ser conduzidas em paralelo e influenciarão na tomada de decisões, dificultando a análise final do PSM. Em empresas maiores algumas destas atividades são realizadas por diferentes departamentos, dificultando o fluxo de informações e em muitas vezes o correto entendimento de seus perímetros. O ideal é que se trabalhe dentro dos princípios da engenharia simultânea e sob a coordenação geral de uma pessoa experiente e com amplo conhecimento do assunto.

O estabelecimento/geração das seqüências de montagem pode ser realizado de diversas maneiras (vide seção 3.3.2), sendo que a ferramenta mais utilizada pelas empresas é a utilização de diagramas de precedência assistida pela experiência dos especialistas. Algumas empresas ainda fazem uso somente da experiência, o que devido a falta de uma análise exaustiva também pode levar a erros ou a utilização de seqüências pouco produtivas. O ideal é combinar a experiência com a utilização das ferramentas descritas e da informática.

Hoje a informática pode ser utilizada com maior eficácia na geração e simulação das seqüências de montagem, tarefas que podem ser consideradas repetitivas e por isto susceptíveis a erros. As atividades de avaliação e escolha das seqüências ainda não possuem um grau de automatização/informatização que possa

ser considerado confiável ou generalista o suficiente. As situações encontradas durante estas etapas, apesar de muitas vezes serem semelhantes, diferem por detalhes que somente um especialista é capaz de reconhecer e julgar com exatidão.

A avaliação das seqüências de montagem envolve uma série de investigações que podem ser realizadas além da análise das restrições, avaliação dos recursos tecnológicos existentes e considerações sobre a movimentação de materiais. Elas não devem dispensar muito tempo, e tem como objetivo principal simplificar a escolha final da(s) seqüência(s), através da eliminação de seqüências improdutivas. Os principais itens que devem ser considerados são os seguintes:

1. Deslocamento do operador: deve-se evitar as seqüências de montagem que exijam grandes deslocamentos por parte dos operadores, e sempre que possível, dar preferência às que privilegiem o sentido de deslocamento da linha de montagem;
2. Peças frágeis: as peças frágeis são pontos com grande índice de retrabalho, e na medida do possível, devem ser montadas no último momento. Isto evita que sejam danificadas durante a montagem de outros componentes;
3. Ferramental necessário: convém concentrar o uso de ferramentas; evitando um custo com ferramental adicional e os tempos dispensados para pegá-las e soltá-las a cada utilização;
4. Número de fixações: devido a submontagens instáveis, direções de inserção ou requisitos de processo, existem seqüências que exigem um maior número de fixações e/ou dispositivos do que outras. Este é um item crítico, quando trata-se de uma montagem mecanizada ou automatizada;
5. Número de reorientações: da mesma forma que no item anterior, algumas seqüências podem levar a um maior número de reorientações da peça ou elemento base. Isto também gera custos adicionais, tornando-se um fator ainda mais crítico, nos casos de componentes grandes/pesados e montagem mecanizada ou automatizada;
6. Facilidade de acesso: algumas seqüências dificultam ou tornam impossível a montagem de algumas peças, quando outras já encontram-se na sua localização final. Além do tempo perdido, em certos casos esta dificuldade pode levar a erros, como a situação onde o contato visual é prejudicado;

7. Número de operações de controle: apesar de indesejáveis como os deslocamentos, estas operações são muitas vezes necessárias. O que deve-se fazer é escolher as seqüências que as minimizem. Um conceito que está sendo trabalhado dentro das indústrias, é a realização do controle pelos próprios colaboradores, ou como é conhecido "autocontrole". Esta prática tem reduzido o índice de retrabalho e praticamente eliminou as operações de controle, deixando-as apenas para os casos realmente críticos;
8. Ergonomia: este item poderia gerar outro trabalho como este, e menciona-se apenas alguns pontos importantes como alturas de trabalho, contato visual, forças e posições de trabalho. Caso existam processos integrados, outros fatores como temperatura, vibração, aceleração e ruído não podem ser esquecidos;
9. Balanceamento: em função das informações iniciais, devemos produzir uma determinada quantidade de produtos, em um certo tempo e dentro de uma área preestabelecida. Para que se consiga um bom balanceamento a partir destas informações, muitas seqüências poderão ser dispensadas. O balanceamento normalmente é um fator determinante na escolha da seqüência de montagem. Devido a sua complexidade, muitas vezes este item é avaliado durante a simulação ou escolha final das seqüências de montagem.

Após a avaliação dos critérios acima mencionados, espera-se que o número total de seqüências esteja suficientemente reduzido, de maneira a facilitar a etapa de simulação. Pode-se dizer que os três tipos de simulações mais empregados são os seguintes:

- a) Simulação estática: realizada nos casos onde os operadores praticamente não se movimentam em relação ao produto. Neste tipo de simulação não leva-se em conta o tempo de montagem. Pode ser feita através da montagem de um protótipo, tentando-se reproduzir ao máximo as condições de produção em termos de equipamentos, ferramental e ambiente de trabalho. É comum avaliar os gestos de montagem durante a simulação, e em função deste e de outros fatores, torna-se fundamental que esta etapa seja realizada por um operador experiente, acompanhado do especialista responsável pelo desenvolvimento do processo;
- b) Simulação dinâmica: neste caso ambos os operadores e o produto possuem um movimento relativo. Repete-se tudo que foi dito no item anterior, adicionando-se

análises temporais. Através desta análise verifica-se a melhor disposição do ferramental e das peças na estação de trabalho. Uma situação especial ocorre quando em uma mesma estação de trabalho houverem dois ou mais operadores. Se isto acontecer, deve-se garantir que a qualquer instante eles não estejam na mesma posição nem se cruzem, evitando-se assim os conhecidos “esbarrões”;

- c) *Simulação computacional*: utilizada quando dispõem-se de modelos computacionais do produto (CAD) e/ou do processo em questão, e pode ser encarada como uma complementação dos itens anteriores. Atualmente é muito empregada na simulação do comportamento global da linha de montagem em casos como na ausência temporária de um operador, parada de máquinas e no dimensionamento de “buffers”. Outra aplicação importantíssima é na definição do fluxo de montagem no caso de linhas não dedicadas, através da determinação do número de produtos de um mesmo modelo que podem ser produzidos consecutivamente, sem causar os ditos gargalos. Desta forma é possível determinar o tempo de recuperação⁸, e mesclar produtos complexos na linha de montagem, sem causar dificuldades ao processo como um todo. Já existem programas comerciais, como o ARENA, para realizar a simulação de linhas de montagem.

Não é demais lembrar que as simulações também podem, e sempre que possível, devem ser feitas nos estágios iniciais de desenvolvimento do projeto. É lógico que não poderão ser consideradas todas as variáveis como numa simulação final, mas o princípio e as diversas concepções poderão ser avaliados com maior criticidade. Estas simulações também servem para auxiliar a integração entre os diversos departamentos, promovendo a troca de experiências e a geração de idéias, que por sua vez, podem trazer grandes benefícios em termos econômicos.

Hoje em dia já existem métodos de avaliação da montabilidade de um produto, como o desenvolvido por Boothroyd e Dewhurst. Este método já encontra-se totalmente implementado em um programa computacional, e está disponível no mercado. A sua aplicação requer algum conhecimento no assunto e uma base de dados bem montada, o que talvez dificulte a sua aplicação em empresas de pequeno porte. Uma alternativa é a construção de planilhas para avaliação da montabilidade e

⁸ Tempo de recuperação: é o tempo necessário para que os operadores e/ou estações automatizadas recuperem a cadência após a montagem de um produto de maior complexidade.

dos recursos disponíveis. A Figura 5.5 traz o exemplo de uma planilha utilizada na avaliação do estudo de caso apresentado no capítulo 6.

Cotação e Validação Formal

Linha validada:
Veículo:
Realizado por:
Data:

Se T < 6 escrever 1 na coluna R
Se T = 6 escrever 0 na coluna R
Se cotação "5" em uma coluna escrever 0 na coluna R

Regras de Cotação

- PRODUTO:**
Representatividade / definição série:
0 - Desenho + matéria-prima + ferramental
1 - Sem ferramental definitivo
3 - Matéria-prima não representativa
5 - Sem representatividade
Conformidade geométrica (peça / série):
0 - Conforme
1 - Pequenos desvios
3 - Desvios que necessitam um retoque
5 - Desvio inaceitável
Montabilidade da peça:
0 - Fácil
1 - Pequena dificuldade
3 - Difícil
5 - Montagem impossível
FERRAMENTAL:
Representatividade / definição série:
0 - Perfeitamente representativo
1 - Representativo pelo princípio
3 - A modificar ou organizar
5 - Não representativo
Funcionalidade:
0 - Posicionamento preciso
1 - Utilização difícil
3 - Posicionamento não rigoroso
5 - Função não assegurada
INSTALAÇÕES:
0 - Meio + Movimento + Referência
1 - Meio + Movimento
1 - Meio + Referência
1 - Movimento + Referência
3 - Meio ou Movimento ou Referência
5 - Nada
GRÁFICO:
0 - Respeita o SITEC
1 - Operação deslocada sem consequência
3 - Função deslocada com risco
5 - Não respeita o gráfico
DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA: (SITEC)
0 - Modo op. + ferramental + ref. peça
0 - Antecipar doc. / modificações previstas
1 - Modo op. + ferramental ou ref. peça
3 - Somente Modo op. ou pouco preciso
5 - Rever documentação
ACEITAÇÃO TODOS OS CLIENTES:
0 - 100% aceitável
1 - Aceitável com plano de ação definido
3 - Aceitável com plano de ação a definir
5 - Inaceitável

N° P o s t o	Funções	PRODUTO			FERRAMENTAL						INSTALAÇÕES	GRÁFICO MONTA	DOCUMENTAÇÃO	ACEITAÇÃO	TOTAL (T)	RESULTADOS (R)
		Representatividade	Conformidade	Montabilidade	Representatividade			Funcionalidade								
					Ferramentas (paraf.)	Assistências	Suportes de Montagem	Ferramentas (paraf.)	Assistências	Suportes de Montagem						
1D	CX. DIR. +BRA. SUSP. DIR.	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	3	3	1	11	0
1E	CX. DIR. +BRA. SUSP. ESQ.	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	3	3	1	11	0
2D	COL. MOTOR + CHICOTE	1	3	1	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	12	0
3D	BAR. EST. + COL. MOT. AR.	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	5	1
3E	BAR. EST. + CON. CHICOTE	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	5	1
5D	TRANSM. DIR. + MANG.	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	5	1
5E	TRANSM. ESQ. + MANG.	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	5	1
7E	ENCHIMENTO FLUIDOS	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1	3	1	1	9	0
8E	MANG. + ABS	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	5	1
10E	INSPEÇÃO	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	3	1	8	0
Soma dos deméritos		1	3	3	6	3	1	0	3	4	10	16	16	10		
Elem. de capacidade %		98	94	94	88	94	98	100	94	92	80	68	68	80		
1 - ((de deméritos) / (5 x N))																

R **5**

$$\text{Nota Obtida} = \frac{20 \times R}{N} = \frac{20 \times 5}{10} = \frac{100}{20}$$

Figura 5.5 – Exemplo de uma planilha utilizada na avaliação do processo de montagem de automóveis [cedida pela Renault do Brasil S. A.].

A escolha da(s) melhor(es) seqüência(s) se dá em função dos critérios anteriores e dos objetivos estabelecidos no início do projeto, sempre visando o menor custo global possível e altos índices de qualidade. Em suma, deve-se procurar fazer o melhor com os recursos disponíveis.

5.2.5 – AGRUPAMENTO DAS PEÇAS E DETERMINAÇÃO DAS SUBMONTAGENS

Apesar de partirem do mesmo princípio, estes dois itens possuem objetivos distintos. O agrupamento das peças visa simplificar o PSM, diminuindo drasticamente o número final de seqüências de montagem a serem analisadas. Já o emprego de submontagens pode ser usado quando deseja-se montar parte de um produto em outro local e posteriormente integrá-lo ao produto em uma etapa final.

Como a determinação de todas as seqüências de montagem é um problema de ordem combinatória, o número de soluções possíveis cresce assustadoramente com o aumento do número de peças ($N!$). Através da determinação de grupos, pode-se tratar um conjunto de peças como sendo uma só peça, diminuindo-se a complexidade do PSM e permitindo focar a atenção nas seqüências mais prováveis e nos pontos mais problemáticos. O agrupamento das peças aqui proposto, é o mesmo utilizado por Boneschanscher e Heemskerk [Bone89]. A seção 4.3 traz maiores esclarecimentos a respeito do assunto.

As submontagens também podem ser consideradas como uma peça única durante a análise final das seqüências de montagem, mas diferentemente do agrupamento de peças, elas possuem uma extensão maior. Uma estratégia que vem sendo adotada em muitos segmentos é a integração de diferentes blocos/submontagens no final do processo de montagem, de maneira a obter diferentes produtos a partir do mesmo bloco principal. Esta técnica reduz o custo de produção e torna mais simples o gerenciamento da produção. Estes blocos são geralmente produzidos em linhas de preparação ou mesmo em um fornecedor, e integrados ao produto no final do processo de montagem.

5.2.6 – ANÁLISE DAS RESTRIÇÕES

O objetivo desta análise é identificar as seqüências que sejam impossíveis ou inviáveis de se realizar. O estudo é conduzido com base no conhecimento da estrutura do produto, forma geométrica das peças e nos meios disponíveis para a sua montagem.

No âmbito deste trabalho, pode-se dizer que uma restrição nada mais é do que uma limitação imposta à montagem de um produto. Conforme a natureza desta limitação, as restrições podem ser classificadas dentro de três grandes grupos:

- 1) Restrições de Produto: como o próprio nome diz, são oriundas das etapas de concepção e projeto preliminar do produto; e muitas vezes possuem uma relação com a função que o mesmo deve desempenhar. No exemplo da Figura 3.7, não é difícil perceber que as duas tampas da caneta esferográfica devem ser montadas por último dentro do gráfico de montagem.
- 2) Restrições Geométricas: são provenientes da geometria das peças e diferentes formas assumidas pelo produto durante o processo de montagem. De acordo com a seqüência de montagem empregada é possível chegar a determinadas configurações do produto (parcialmente montado), que juntamente com a forma da peça, impossibilitem a montagem. Também enquadram-se neste item o problema do acúmulo de tolerâncias e acabamento superficial das peças. Estas restrições podem ser identificadas através do conhecimento do produto, simulações computacionais e montagem de protótipos.
- 3) Restrições de Processo: dependem basicamente do tipo de montagem, ferramentas/dispositivos necessários e processos integrados. O tipo de montagem pode ser fator determinante, pois dependendo do nível de automatização solicitado, algumas seqüências se tornam extremamente caras. De acordo com a seqüência a ser empregada, pode ser preciso um maior número de ferramentas/dispositivos, ou ainda impedir a sua utilização devido a fatores como a acessibilidade. Já os processos integrados podem estabelecer uma série de restrições em função de suas instalações e função, chegando a casos onde podemos considerar dois grandes grupos de peças na análise: um antes e outro após a realização dos mesmos.

O ideal é que estas restrições sejam identificadas o mais cedo possível, de maneira a simplificar as etapas de estabelecimento, avaliação, simulação e escolha da(s) seqüência(s) de montagem. Se imaginarmos que cada restrição de montagem envolve duas ou mais peças, e conseqüentemente a eliminação de algumas seqüências de montagem, não fica difícil perceber a importância desta análise.

5.2.7 – DEFINIÇÃO DAS OPERAÇÕES E ELABORAÇÃO DA DOCUMENTAÇÃO DE PROCESSO

Apesar de não serem realizados em uma mesma etapa do PSM, estes dois itens estão intimamente ligados, visto que as operações são uma parte da documentação de processo.

As operações começam a ser definidas a partir da concepção do produto e conseqüentemente do gráfico de montagem do produto em questão. A correta definição das operações de montagem não é uma tarefa fácil, mas se for bem feita pode facilitar a análise do PSM. Isto porque algumas ferramentas de auxílio ao PSM, como os diagramas de precedência e as Redes de Petri (em alguns casos), são baseadas em operações pré-definidas. Além disto, a correta descrição de uma operação e sua delimitação, podem facilitar a difícil tarefa de estabelecimento dos tempos de montagem.

Quando se fala neste assunto, é comum surgir a seguinte pergunta:

“Qual a melhor sistemática de trabalho para o estabelecimento das operações de montagem?”

Esta resposta não é direta pois depende de uma série de fatores como a estrutura do produto, tipo de montagem a ser empregado, recursos disponíveis e experiência do especialista. Algumas empresas procuram padronizar os termos mais usados como verbos de ação do tipo: montar, posicionar e encaixar. Outro artifício muito utilizado é separar as operações de provisionamento de peças das de montagem. Como regra geral a linguagem utilizada deve ser simples e direta, permitindo a sua compreensão, mesmo por pessoas com pouco conhecimento sobre o assunto.

Além das operações de montagem, que geralmente envolvem informações sobre tempos e peças a serem montadas, existem uma série de outros documentos de processo. Muitos deles são requisitos de normas como as da série ISO 9000 ou QS 9000. Alguns servem de base para trabalhos futuros (modificações do tempo de ciclo, evoluções de produto, etc.), como os diagramas de ligação. Outros garantem o bom funcionamento e organização do processo de montagem, como as listas de ferramentas e/ou equipamentos utilizados em cada estação de trabalho e planos de manutenção.

Em certas indústrias automobilísticas, como nas americanas e japonesas, existem fichas de processo padrão (“master process sheets”) que trazem informações explicativas através de desenhos, operações, tempos e ferramentas utilizadas para a montagem. Elas geralmente correspondem a uma função desempenhada por um grupo de peças do produto, de maneira que cada ficha explique a montagem das mesmas. Como exemplo de função, pode-se citar a fixação do limpador de pára-brisa de um veículo (Vide Figura 2.1).

Quando da confecção desta documentação é indispensável ter em mente a filosofia do “justo necessário”, já que todos os documentos devem ser constantemente atualizados. O estabelecimento de procedimentos de rastreabilidade das modificações é de extrema importância, e devem seguir os requisitos das normas seguidas pela empresa.

Os documentos relativos a organização das estações de trabalho também fazem parte de qualquer processo de produção seriada, assim como formulários de consulta que podem ser utilizados pelos operadores. Estes formulários trazem informações sobre os pontos julgados difíceis, ambíguos ou de extrema importância durante a montagem de um produto. Eles são utilizados por empresas de diversos ramos e podem ser identificados através de nomes como: FIT (Ficha de Instrução de Trabalho) e FIO (Ficha de Instrução Operatória).

Dentre os principais objetivos da documentação de processo, destacam-se:

- garantir que os produtos estejam sendo fabricados em conformidade com as especificações de produto e processo;
- obter uma análise de custos coerente com a realidade, o que permite a “sobrevivência” da empresa e um planejamento a longo prazo.

5.2.8 – CONSIDERAÇÕES SOBRE A MOVIMENTAÇÃO DE MATERIAIS

Apesar do título desta seção tratar somente da movimentação de materiais, não podemos deixar de comentar sobre o seu armazenamento. Estas duas atividades não agregam valor algum ao produto e por esta razão devem ser reduzidas ao mínimo necessário. Infelizmente, de uma maneira ou de outra, elas estão presentes em todos os processos industriais e representam uma importante porcentagem do custo final de fabricação.

As considerações sobre a movimentação de materiais muitas vezes podem ser decisivas na escolha de uma determinada seqüência, já que possuem uma influência direta na organização da estação de trabalho. Também é importante mencionar-se a importância da disposição das peças dentro das embalagens, que deve ser tal que não prejudique a qualidade das mesmas e facilite a sua retirada no momento da montagem.

A movimentação de materiais e o seu armazenamento podem ser vistos como atividades dinâmicas e estáticas dentro do processo de manufatura, proporcionando o provisionamento “do material correto, no local necessário, no momento desejado”. Pode-se expandir esta definição em três tópicos [Cell92]:

1. Este conceito pode ser estendido do fornecimento da matéria-prima e produtos semi-acabados até o empacotamento, expedição e entrega ao cliente;
2. Não inclui somente o fluxo físico de peças e materiais, mas também o seu acompanhamento, de maneira que ações corretivas possam ser implantadas no menor tempo possível;
3. O fluxo de materiais e informações deve ser contínuo e sincronizado, ou seja, requer um bom nível de integração.

Devido à complexidade destas atividades, este trabalho vai-se ater à logística interna de um sistema de montagem. Como em grandes indústrias os fornecedores muitas vezes encontram-se instalados dentro do próprio parque industrial ou nas proximidades, este domínio pode ser expandido a intervenções com o próprio fornecedor.

Da mesma forma que existem as recomendações básicas de projeto para a montagem (Seção 1.3.2), para realizar o projeto da logística de um sistema de montagem pode-se apoiar sobre alguns princípios gerais da movimentação de materiais. Os vinte princípios abaixo relacionados, foram extraídos da referência [Cell92] e são relativos a sistemas de montagem com organização celular. Mesmo assim, a maior parte deles, podem ser aplicados a qualquer tipo de sistema de montagem.

- 1) Princípio da Orientação: estudar o problema durante a etapa de planejamento, identificando procedimentos aplicáveis, restrições econômicas e físicas, e estabelecendo as metas e os requisitos futuros;
- 2) Princípio do Planejamento: incluir os requisitos básicos, opções desejáveis e todas as considerações e contingências para todas as atividades de movimentação de materiais e armazenamento;
- 3) Princípio dos Sistemas: integrar as atividades de manuseio e armazenamento que são economicamente viáveis em um sistema coordenado de operações, incluindo recebimento, inspeção, armazenamento, produção, montagem, embalagem, estoques e transporte;
- 4) Princípio do Carregamento Unitário: manusear o produto na maior unidade possível (na prática);
- 5) Princípio da Utilização de Espaço: utilizar efetivamente todo metro cúbico;
- 6) Princípio da Padronização: deve-se tentar padronizar métodos de manuseio e equipamentos;
- 7) Princípio da Ergonomia: identificar as limitações humanas, projetando equipamentos para movimentação de materiais e procedimentos que tenham uma efetiva interação com seus usuários;
- 8) Princípio da Energia: incluir o consumo de energia dos sistemas de movimentação de materiais, quando realizar comparações ou justificativas dos investimentos;
- 9) Princípio da Ecologia: usar equipamentos para a movimentação de materiais e procedimentos que minimizem os efeitos adversos no meio-ambiente;

- 10) Princípio da Automação: automatizar os processos de manuseio de materiais que se demonstrarem economicamente viáveis;
- 11) Princípio da Flexibilidade: utilizar procedimentos e equipamentos que possam desenvolver uma grande variedade de atividades, e em diferentes condições;
- 12) Princípio da Simplificação: simplificar o manuseio eliminando, reduzindo ou combinando movimento ou equipamentos desnecessários;
- 13) Princípio da Gravidade: sempre que possível, utilizar a gravidade para auxiliar a movimentação de materiais. Atentar as limitações concernentes a segurança e danos físicos ao produto;
- 14) Princípio da Segurança: dispor de procedimentos e equipamentos que estejam em conformidade com as normas e regulamentações de segurança, sem esquecer-se da experiência adquirida;
- 15) Princípio da Informatização: considerar a informática como uma poderosa ferramenta de auxílio (se bem empregada) no controle de material e informações dentro dos sistemas de movimentação de materiais e armazenamento;
- 16) Princípio do Fluxo: integrar o fluxo de dados com o fluxo físico de materiais durante o manuseio e armazenamento;
- 17) Princípio do Leiaute: preparar uma seqüência de operações e leiaute dos equipamentos que se apliquem para todas as soluções disponíveis. Depois escolha a alternativa que melhor integre o binômio eficiência e eficácia;
- 18) Princípio Econômico: compare os custos de todas as soluções alternativas (métodos e equipamentos), através do seu custo por unidade manuseada;
- 19) Princípio da Manutenção: prepare um plano de manutenção preditiva e preventiva em todos os equipamentos;
- 20) Princípio da Obsolescência: desenvolva uma política a longo prazo para a substituição dos equipamentos e práticas obsoletos; dispensando atenção especial aos custos provenientes da etapa posterior ao seu ciclo de vida (desmontagem, descarte, entre outros).

É importante dizer que nenhum conjunto de princípios pode ser aplicado a todas as situações, mas eles possuem um importante papel como ponto de partida e

na tomada de decisões. A Figura 5.6 apresenta os fatores chave para a movimentação de materiais, ou seja um resumo sobre tudo o que foi discutido nesta seção.

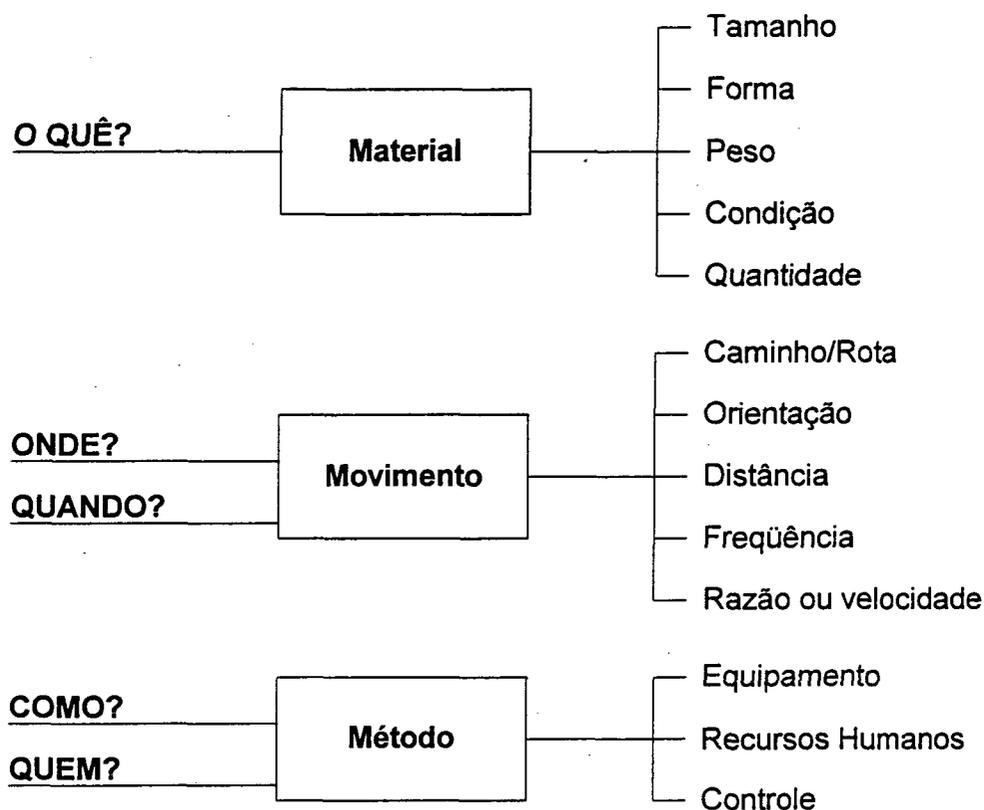


Figura 5.6 – Fatores chave para a movimentação de materiais [Cell92].

5.2.9 – PROJETAR OU REPROJETAR O PRODUTO/SISTEMA DE MONTAGEM E RECURSOS TECNOLÓGICOS

Estes três itens devem ser constantemente monitorados durante todo o PSM, de maneira que a cada decisão que tomarmos, devemos realizar as seguintes perguntas:

- 1) Existem recursos tecnológicos para cumprir a tarefa? Eles são acessíveis?
- 2) Uma adaptação do sistema de montagem aumentaria a produtividade?
- 3) O reprojeto de determinada parte do produto traria benefícios?

A primeira questão diz respeito aos meios disponíveis para executar determinada tarefa. Ela não se resume apenas a conhecer uma forma de realizar a

tarefa, pois na maioria dos casos estes recursos existem; restando avaliar se eles são acessíveis em termos de custo, prazo, qualidade e demais objetivos da empresa com o produto.

Outro ponto que muitas vezes traz benefícios significativos é a constante avaliação do sistema de montagem a ser empregado (questão 2). Com o decorrer do PSM as informações relativas ao processo vão se tornando cada vez mais claras, e muitas vezes uma pequena adaptação no sistema de montagem pode levar a ganhos de produtividade. A experiência mostra que a maior parte das idéias surgem durante a etapa de simulação das seqüências de montagem, quando geralmente o sistema de montagem já encontra-se quase que totalmente desenvolvido ou adaptado (casos onde ele já existia). Isto vem reforçar a idéia de realizarmos um estudo inicial do PSM já nas etapas iniciais de projeto, mesmo se for através de desenhos e modelos.

A terceira questão traz a tona um assunto que já foi amplamente discutido neste trabalho, e é assunto de diversas outras pesquisas: a engenharia simultânea. A integração entre todas as áreas da empresa é indispensável para o projeto e fabricação de um produto competitivo. O que muitas vezes ainda acontece, é que os departamentos de processo e fabricação são deixados um pouco de lado durante as etapas iniciais de projeto conceitual e preliminar. Esta falta de integração pode levar a modificações no projeto inicial, de maneira a introduzir alterações que facilitem ou conduzam a gráficos de montagem com maior confiabilidade. Algumas destas modificações poderiam também ser evitadas, se durante as etapas iniciais as recomendações de projeto para a montagem (seção 1.3.2) tivessem sido levadas em conta.

Em alguns casos extremos pode ser necessário abandonar as idéias iniciais e realizar um reprojeto quase que total no sistema de montagem ou no produto em questão. Estas situações são raras, mas existem. Como já apresentado nas seções anteriores, o ideal é quando está se realizando o projeto de um produto para ser montado em um novo sistema de montagem. Nestes casos tem-se a oportunidade de tirar proveito de experiências anteriores e obter resultados mais interessantes. Este último comentário não deve ser encarado como um fator desmotivador para os que se deparam com as situações anteriormente apresentadas, e sim como um desafio que pode ser vencido através da criatividade e bom senso dos integrantes da equipe.

5.2.10 – IMPLEMENTAÇÃO

Após o desenvolvimento de todo o estudo do processo de montagem, pode-se pensar que o trabalho está praticamente terminado e que as barreiras mais difíceis já foram transpostas. Quem pensar desta maneira certamente estará cometendo um engano que pode ser crucial para o sucesso de todo o projeto.

A etapa de implementação, sob o meu ponto de vista, é a mais complicada e importante de todo o PSM. Nela põem-se em prática tudo o que foi planejado em termos de produto, processo e movimentação de materiais. Todos que se envolveram nas etapas anteriores estarão trabalhando ao mesmo tempo, e a única maneira de transpor as barreiras, é fazer com que todos estejam buscando o mesmo objetivo. O espírito de equipe e a cooperação são fundamentais, além da integração promovida pela engenharia simultânea nas outras etapas.

Algumas atividades como o treinamento de funcionários e negociações com fornecedores são realizadas em paralelo com a instalação dos equipamentos e adaptações necessárias. Tem-se diversas pessoas de vários locais, formações e classes sociais diferentes em um mesmo local. Muitos problemas são descobertos e devem ser transpostos de uma maneira ágil e eficiente. É um período onde todos devem dar o máximo de si e evitar a realização de comentários negativos que possam “contaminar” a equipe. Frases do tipo “Já tentamos isto outras vezes e não funcionou”, “Este não é meu problema” e o categórico “Não” sem uma explicação convincente devem ser banidos do vocabulário de todos.

Um planejamento detalhado desta etapa, com a identificação dos caminhos críticos do projeto e dos responsáveis por cada uma das tarefas, é necessário para que os atrasos sejam evitados. Pelo gênero das atividades desenvolvidas durante a implementação, é comum que os atrasos tenham um reflexo direto nas demais, gerando uma situação que muitas vezes pode prejudicar o lançamento de um produto. Nunca é demais lembrar que outras atividades dependem do cumprimento dos prazos preestabelecidos. O departamento de marketing já possui contratos de publicidade, coquetéis de lançamento de produto programados, e o que é pior, o seu concorrente pode estar lançando um produto similar antes do que você.

O uso de reuniões hebdomadárias para o acompanhamento do projeto é uma ferramenta interessante, e devem contar com a participação de representantes de diversas áreas. É uma oportunidade para expor as dificuldades encontradas e encontrar auxílio para sobrepo-las. O ideal é que elas sejam rápidas e nelas sejam discutidos somente os pontos críticos.

Não diferentemente das outras, esta é uma etapa que deve contar com pessoas experientes e dinâmicas sob o comando. A experiência proveniente de outros projetos é importante, ajuda a superar todas as dificuldades e a encorajar a equipe nos momentos críticos.

5.3 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo apresentou uma sistemática que pode ser utilizada para a realização do PSM de qualquer produto ou família de produtos. Ela é genérica, e abrange desde as etapas iniciais (decisões estratégicas) até a implementação final do processo de montagem.

O objetivo proposto era de elaborar uma sistemática que pudesse ser facilmente aplicada em todos os tipos de empresas que possuem algum processo de montagem, aproveitando-se de um fator importante: a experiência aliada a metodologia de trabalho. Como a maioria dos trabalhos publicados nesta área dependem de uma maneira ou de outra da experiência adquirida, procurou-se mesclá-la com alguns conceitos teóricos sobre o processo montagem.

A principal contribuição da sistemática proposta é apresentar todas as atividades do PSM de uma maneira clara e organizada. Durante a explicação das atividades envolvidas, procura-se apresentar uma maneira de conduzir o trabalho, indicando os principais itens que devem ser observados e o que espera-se de cada das atividades. Espera-se que a mesma possa suprir as lacunas apontadas na seção 5.2, e promover a integração entre as atividades de projeto e fabricação.

Como apresentado no Capítulo 4, as tentativas de automatização do PSM esbarram na dependência de um especialista e na falta de flexibilidade dos sistemas computacionais. Através da sistemática proposta e tendo uma pessoa experiente para

se apoiar, mesmo uma pessoa sem muita experiência no assunto, é capaz de desenvolver um bom trabalho em qualquer área da montagem.

No desenvolver deste capítulo procurou-se enfatizar a importância do trabalho em grupo, já que o PSM é uma atividade de natureza multifuncional. Se observarmos o formato do fluxograma que representa a sistemática proposta (Figura 5.2), nota-se que uma série de atividades são desenvolvidas em paralelo, até que todas elas vão convergindo para um objetivo comum, que é a implementação final. Esta análise explica a necessidade de integração entre as áreas envolvidas e de uma coordenação eficiente do processo como um todo.

Devido a sua complexidade, não foi possível descrever os detalhes de cada uma das etapas acima, mesmo porque elas devem ser moldadas conforme a situação encontrada. Os capítulos anteriores fornecem um bom embasamento teórico, enquanto que o conhecimento do produto e a experiência adquirida complementam os requisitos necessários para a aplicação desta sistemática.

O Capítulo 6 apresenta um estudo de caso, onde pode-se comprovar a eficiência da sistemática proposta. O trabalho foi realizado dentro da Engenharia de Processos da Renault do Brasil S.A., e já apresenta-se totalmente implementado. O processo estudado foi o da montagem do Grupo Motor Propulsor, que é composto pelas principais peças constituintes do compartimento do motor de um veículo.

CAPÍTULO 6

ESTUDO DE CASO

6.1 – INTRODUÇÃO

O objetivo deste capítulo é apresentar um exemplo que ilustre os passos desenvolvidos durante as etapas do PSM. A fim de facilitar o entendimento algumas etapas foram apresentadas de uma maneira simplificada, assim como em certos casos devido a restrições impostas pela empresa, não foi possível demonstrar com detalhes os resultados obtidos. Algumas ferramentas que podem ser utilizadas na resolução deste exemplo, já foram exploradas em capítulos anteriores e por isto só serão citadas. A sistemática de resolução é a mesma para a maior parte dos casos, mas as ferramentas de auxílio é que devem ser bem escolhidas e adaptadas para cada situação. Com o intuito de enriquecer a explanação, o desenvolvimento do exemplo é realizado com algumas ferramentas ainda não mencionadas.

Este estudo foi realizado durante a implantação da fábrica Ayrton Senna (FAS) da montadora Renault do Brasil S.A., sediada na cidade de São José dos Pinhais, PR; e já encontra-se totalmente implementado. O processo analisado foi o da montagem do GMP - Grupo Motor Propulsor (vide Figura 6.1), que dentro da empresa é tido como o mais complexo devido principalmente a diversidade de peças e por abranger um grande número de operações de segurança.

Foram implementadas três motorizações diferentes, sendo um motor 2.0 8 válvulas (115 cv), um 1.6 16 válvulas (110 cv), ambos a gasolina; além de um 1.9 diesel turbo (100 cv). Levando-se em consideração as diferenças entre os motores com e sem ar condicionado (AC), pode-se dizer que a diversidade é de cinco produtos significativamente diferentes (motor diesel só possui a versão com ar condicionado) montados na mesma linha.

Considerando-se a Figura 5.1, partiu-se de uma situação pouco favorecida para a realização do PSM: o produto já existia e o sistema de montagem estava em construção. O desenvolvimento do trabalho foi realizado com base na sistemática proposta no capítulo 5, e apesar da complexidade das montagens em questão, todas as metas estabelecidas pela empresa foram atingidas dentro do prazo proposto.

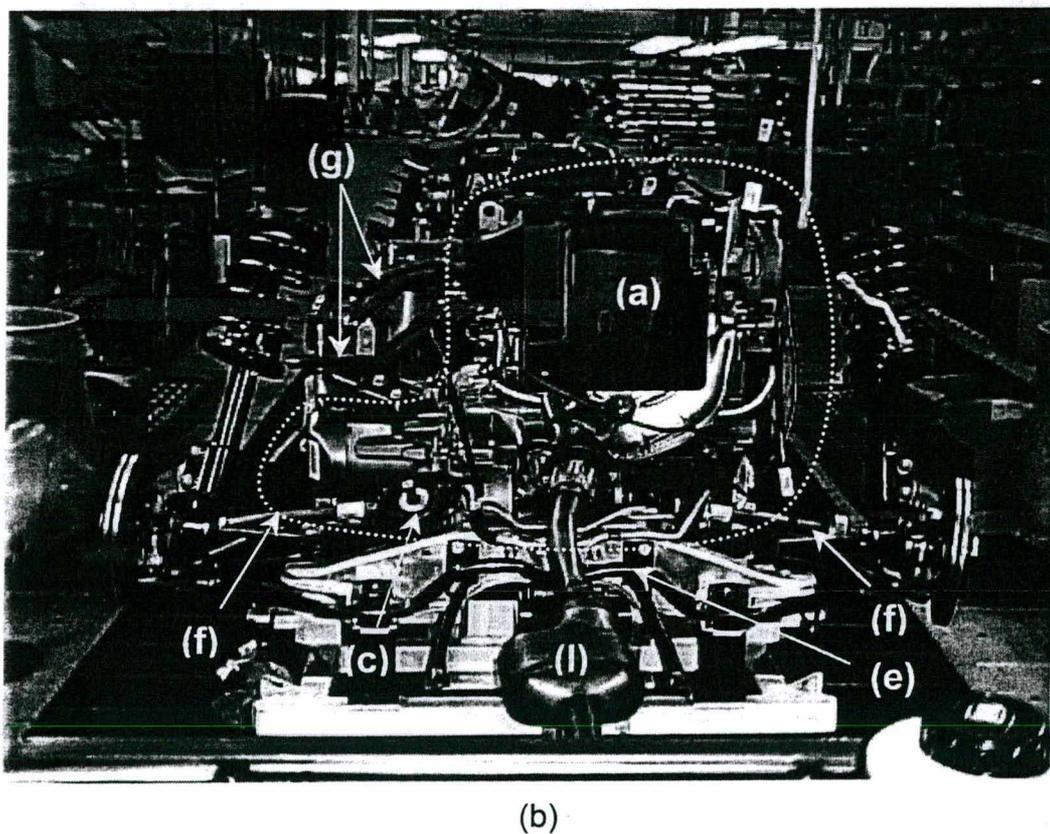
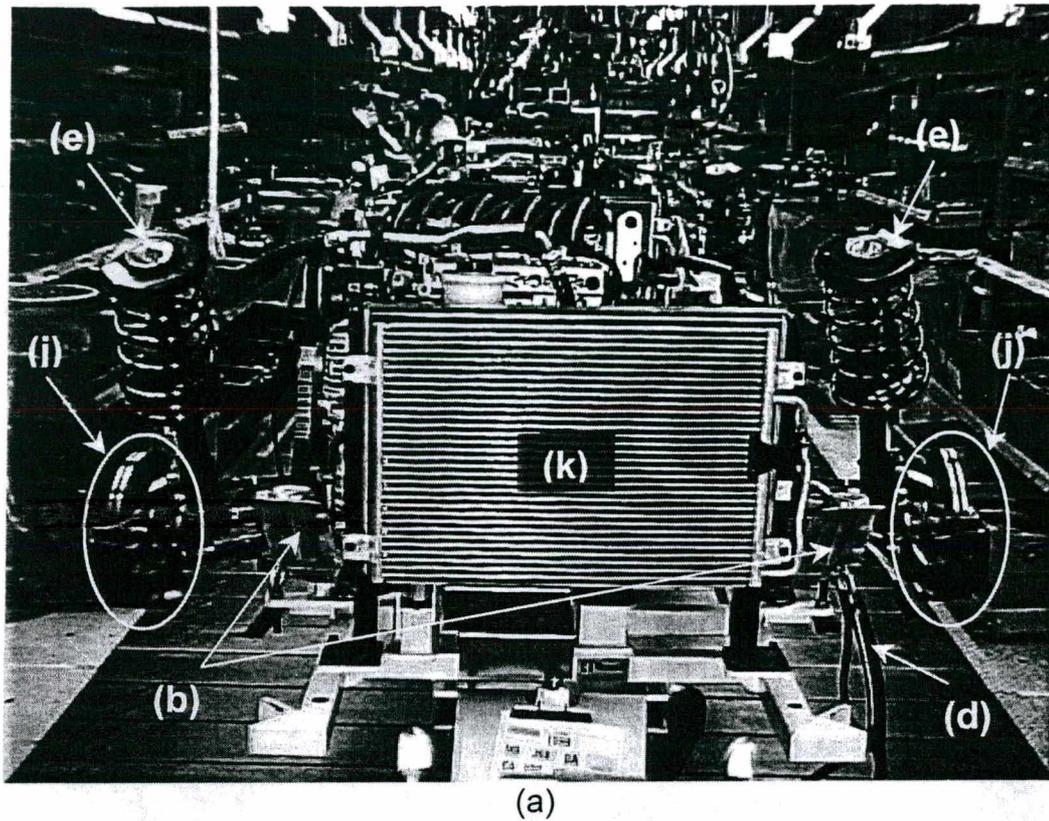


Figura 6.1 – Fotos de um GMP do motor 1.6 16 válvulas: (a) Vista frontal (b) Vista posterior.

Ao total são aproximadamente 200 peças diferentes, sendo que algumas delas constituem-se de submontagens provenientes de fornecedores diversos. Estes GMP's fazem parte do veículo Scénic que foi o primeiro projeto implantado pela Renault no Brasil. Estes veículos serão inicialmente fornecidos ao mercado brasileiro e argentino, e seguem a mesma tecnologia, padrões de segurança e qualidade empregados na Europa.

Os principais componentes montados no GMP são os seguintes (Figura 6.1):

- a) Conjunto motor;
- b) Agregado (considerado como elemento base);
- c) Caixa de direção;
- d) Chicote do motor;
- e) Todas as peças que envolvem a suspensão dianteira;
- f) Semi-eixos de transmissão;
- g) Tubulações de arrefecimento do motor;
- h) Tubulações do circuito de direção assistida;
- i) Tubulações do circuito de ar condicionado;
- j) Conjunto munhão, discos e pinças de freio;
- k) Conjunto radiador;
- l) Escapamento primário;
- m) Sensores do sistema ABS das rodas dianteiras.

6.2 – INFORMAÇÕES INICIAIS E DETERMINAÇÃO DO TIPO DE MONTAGEM

Neste caso estas duas etapas serão abordadas em conjunto, já que o sistema de montagem já encontrava-se parcialmente especificado e fazia parte das informações iniciais.

O projeto como um todo é ambicioso, pois a idéia é transformar a Fábrica Ayrton Senna em um modelo de produtividade e qualidade para todo o grupo Renault. Um dos pontos a destacar é o baixo índice de automatização, que por um lado oferece uma grande flexibilidade, mas por outro exige um processo bem delineado e ajustado.

A título de parâmetros de processo, o objetivo é uma capacidade de produção de 20 veículos/h, com um tempo de ciclo (t_c) de 2,91 min. No que concerne ao tempo de ciclo, grande parte dos autores apontam mais vantagens do que desvantagens em trabalhar com um tempo de ciclo relativamente elevado como este. Observando-se a Tabela 6.1 [Chow90], pode-se notar que um tempo de ciclo mais curto só é recomendável em termos de tempo de aprendizado do operador, custo de implantação da estação de trabalho e facilidade de automatização.

Tabela 6.1 – Comparações entre os tempos de ciclo curto e longo [Chow90]

Parâmetros	Tempo Ciclo		Comentários
	Curto	Longo	
Projeto da Estação de Trabalho			
Custo da estação	X		Menor custo de ferramentas e espaço necessário
Automação	X		Simplicidade
Flexibilidade da Linha			
Organização da linha		X	Vertical vs. Horizontal
Capacidade de mudanças		X	Incerteza da demanda
Modificações de processo		X	Linhas separadas
Gerenciamento da Linha			
Atividades da linha		X	Simplicidade
Inventário da linha		X	Simplicidade
Pessoal		X	Menor nº de operadores
Complexidade de rota		X	Menor nº de estações de trabalho por operação
Qualidade			
Controle		X	Identificação dos problemas
Danos devido ao manuseio		X	Redução do transporte
Eficiência da Linha			
Balanceamento		X	Tempo de ciclo longo
Movimentação de materiais		X	Menor nº de operações
Coordenação da linha		X	Linha curta, maior qtdade material processado
Utilização do espaço		X	Linha menor
Fatores Humanos			
Enriquecimento do trabalho		X	Acima de 10-12 minutos
Menores deslocamentos		X	Baixa fadiga, menor frequência
Aprendizado do operador	X		Aprendizado rápido, poucas atividades
Aprendizado do grupo		X	Linha curta, maior qtdade material processado

A Figura 6.2(a) apresenta um esquema de toda a linha de montagem da fábrica, onde no fluxo principal existem linhas de revestimento (SE), mecânica (ME) e validação, enquanto que as linhas de motores (MO) podem ser consideradas linhas de preparação. A Figura 6.2(b) traz um detalhamento do leiaute da linha de montagem do GMP. Considera-se que as linhas de motores fornecem um módulo constituinte do veículo, neste caso o GMP. As peças constituintes deste módulo foram determinadas em função do gráfico de montagem do produto e das características do processo proposto.

O tipo de montagem a ser utilizado é a manual, principalmente em função do elevado tempo de ciclo e da grande diversidade de motorizações previstas (oito motores com diferentes níveis de acessórios), o que torna o custo de automatização elevado. Durante as etapas de estabelecimento e avaliação das seqüências de montagem geradas, fez-se uso da abordagem heurística.

A linha de montagem já estava parcialmente especificada e era constituída de um transportador de taliscas com velocidade regulável variando entre 0 e 2 m/min e suportes para a montagem dos GMP's. Ao todo poderia-se dispor de 12 estações de trabalho de 2,5 m de comprimento, sendo que uma deveria ser utilizada para o processo integrado de enchimento do fluido de direção assistida (DA) e óleo da caixa de câmbio.

Como a linha de montagem ainda estava sendo fabricada quando o estudo detalhado do processo teve início, foi possível realizar uma série de pequenas modificações que contribuíram para a adaptação do processo ao gráfico de montagem escolhido. Este fator foi positivo, pois permitiu uma melhoria nos tempos de montagem, ergonomia e qualidade final do produto.

6.3 – PROCESSOS INTEGRADOS

A existência do processo integrado de enchimento fazia parte das informações iniciais. A especificação, compra e instalação do equipamento foram realizados por um especialista neste tipo de processo. Alguns detalhes relativos a operação do equipamento foram resultado de um trabalho em conjunto com este especialista, de maneira a obter a maior produtividade do equipamento.

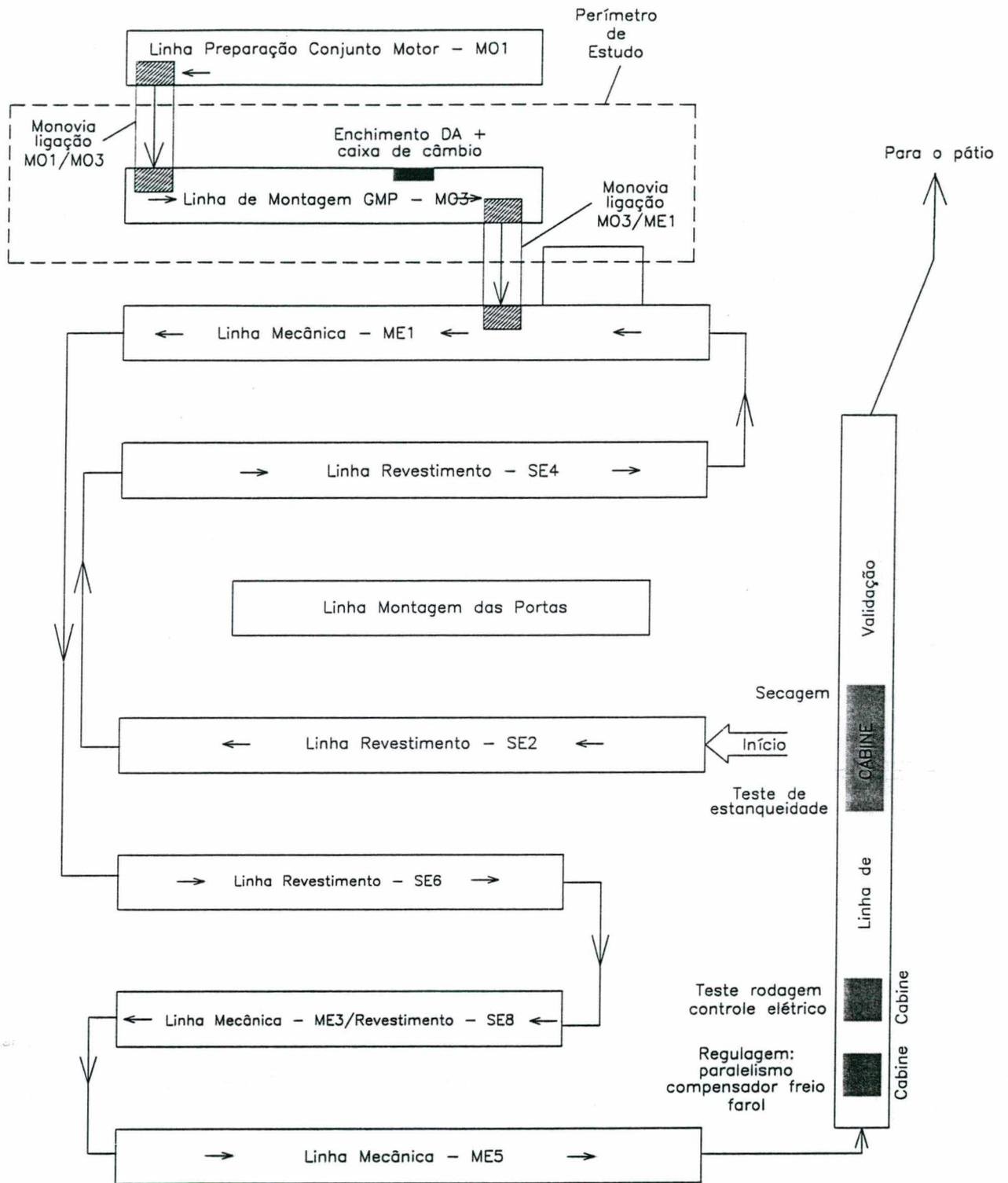


Figura 6.2– (a) Esquema geral da linha de montagem da Fábrica Ayrton Senna, demonstrando o fluxo de montagem dos veículos e destacando a linha de preparação do GMP.

O processo integrado de enchimento requer a instalação de um equipamento especial e de uma ponte rolante (vide Figura 6.2 (b)). Para determinar a estação de trabalho na qual o mesmo se realizará, foram levadas em consideração as seguintes restrições:

- Enchimento fluido DA: só pode ser realizado após a montagem de todo o circuito, ou seja, praticamente no final da montagem do GMP;
- Enchimento óleo caixa de câmbio: deve ser realizado após a montagem do semi-eixo de transmissão esquerdo e antes da montagem do radiador;
- Restrição de projeto: o equipamento de enchimento deve ser o mesmo para ambos os casos.

A partir do exposto optou-se pela instalação do equipamento de enchimento na estação de trabalho nove, lado esquerdo (vide Figuras 6.2(a) e (b)).

6.4 – DETERMINAÇÃO DAS SUBMONTAGENS

Durante o desenvolvimento deste estudo definiu-se cinco diferentes submontagens. As três primeiras submontagens já haviam sido definidas durante a etapa de concepção do processo, enquanto que as outras duas foram determinadas durante o projeto detalhado do processo de montagem. A seguir encontram-se listadas cada uma das submontagens, acompanhadas de um breve comentário.

1 – Conjunto Motor

Composto pelo bloco do motor completo, disco de embreagem, platô, caixa de câmbio, coletor de escapamento, suporte acessórios, acessórios (alternador, bomba DA, compressor AC), motor de arranque, suporte pendular do motor, polias, correia e fixações diversas. A Figura 6.3 traz um desenho esquemático do conjunto motor, destacando as suas principais peças constituintes e o suporte de montagem do GMP. As três setas indicam os pontos de apoio do conjunto motor no suporte de montagem.

O conjunto motor é proveniente da linha de preparação do motor, sendo transportado para a linha do GMP através da monovia de ligação MO1/MO3 (vide Figura 6.2(b)). Ele pode ser depositado nos suportes de montagem do GMP em qualquer uma das três primeiras estações de trabalho. Devido ao balanceamento proposto, gráfico de montagem e a dificuldade de montagem de certas peças (caixa de direção, tubulação de direção assistida, etc), decidiu-se depositá-lo na estação de trabalho três. Este conjunto é transportado até a linha do GMP já na seqüência em que os veículos devem ser montados, ou seja, sincronizado com o filme de produção da linha de montagem.

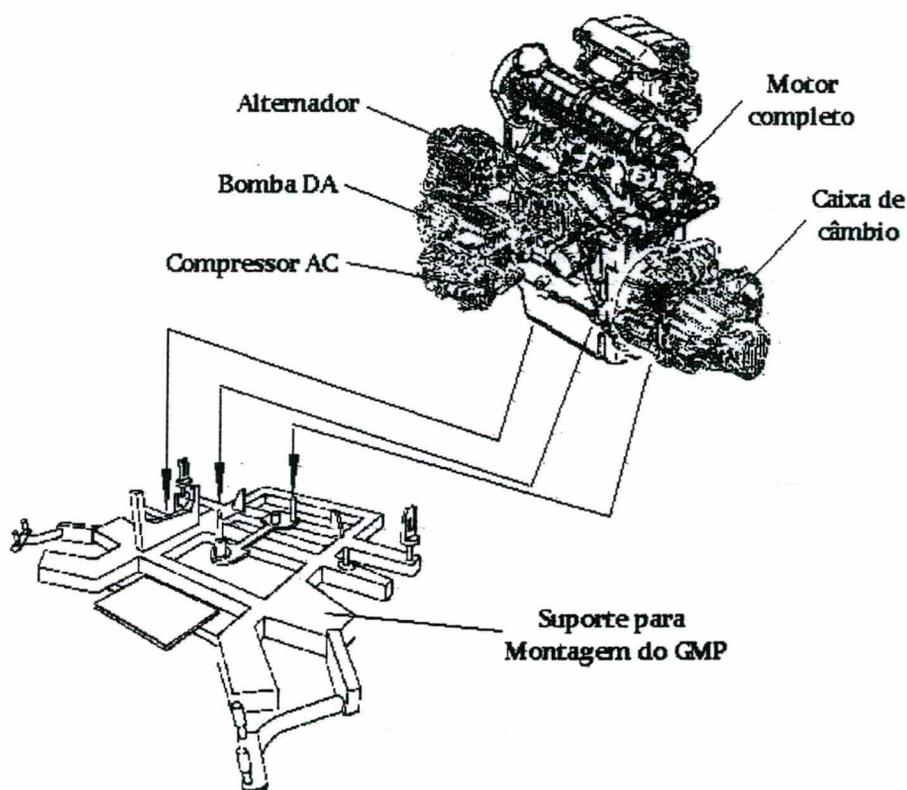


Figura 6.3 – Desenho esquemático do conjunto motor, destacando suas principais peças e o suporte de montagem do GMP.

2 – Conjunto Amortecedor / Molas

Constituído pelo amortecedor dianteiro, mola, coifa, coxim, rolamento, batentes e fixações. A Figura 6.4 (a) mostra um desenho em explosão com as principais peças deste conjunto.

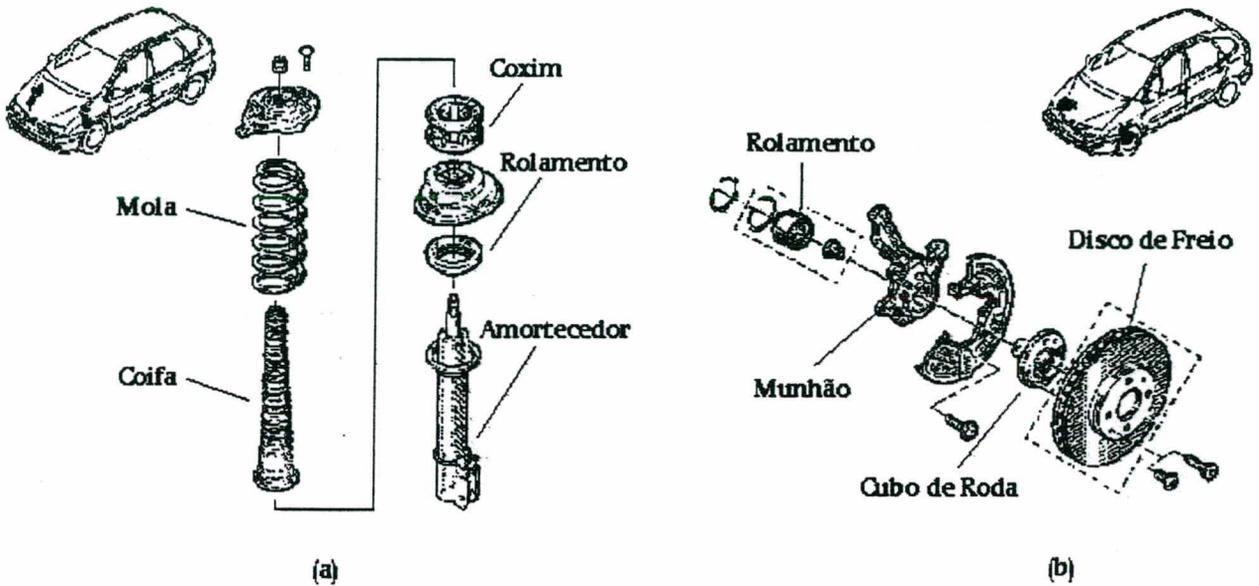


Figura 6.4 – Desenhos em explosão com as principais peças constituintes das submontagens: (a) conjunto amortecedor/mola e (b) conjunto munhão/disco de freio.

Ele é montado em um fornecedor situado dentro do próprio pátio da empresa e o seu provisionamento é realizado de forma sincronizada. O transporte do fornecedor até a linha de montagem é realizado através do carrinho da Figura 6.5, que é comum com o conjunto munhão/discos de freio. Mesmo tratando-se de peças idênticas para os lados direito e esquerdo, decidiu-se que seria mais prático posicionar um carrinho de cada lado da linha de montagem, em função dos seguintes fatores:

- O conjunto munhão/discos de freio, que é preparado pelo mesmo fornecedor que o conjunto amortecedor/mola e transportado no mesmo carrinho, não é comum para os lados direito e esquerdo;
- Os conjuntos direito e esquerdo são montados por operadores diferentes;
- Para respeitar a autonomia prevista seria necessário utilizar uma grande área para colocação dos carrinhos, aumentando o deslocamento do operador e atrapalhando a implantação das outras peças na linha de montagem.

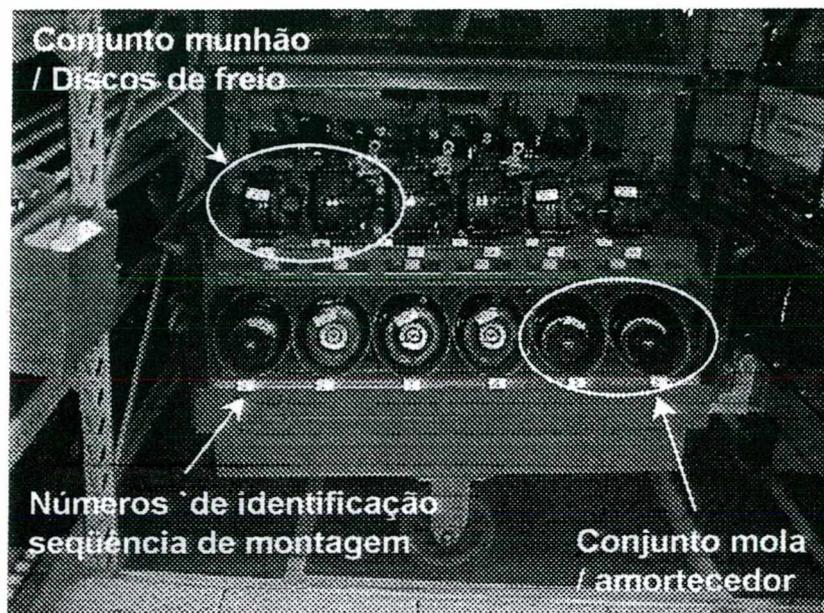


Figura 6.5 – Foto do carrinho utilizado para o transporte dos conjuntos amortecedor/mola e munhão/discos de freio.

3 – Conjunto Munhão / Discos de Freio

As suas peças constituintes são: munhão, discos de freio, rolamento, chapa proteção do disco, cubo de roda, retentores, fixações, pinças e pastilhas de freio. A Figura 6.4 (b) ilustra este conjunto e suas principais peças.

Ele é montado no mesmo fornecedor do conjunto amortecedor/mola, e como anteriormente descrito é transportado para a linha de montagem no carrinho da Figura 6.5. Os demais comentários realizados a respeito da logística no item anterior, também são válidos para este conjunto.

4 – Conjunto Reservatório DA

Conforme a Figura 6.6 (a), é composto do reservatório DA, braçadeira suporte, grampo de fixação, braçadeiras elásticas de fixação, mangueiras de alta e baixa pressão DA. A sua preparação é realizada pelo próprio operador da estação de trabalho onde o mesmo será montado, com o auxílio do dispositivo de montagem da Figura 6.6 (b). Estes conjuntos possuem diferentes configurações que variam de acordo com a motorização do veículo.

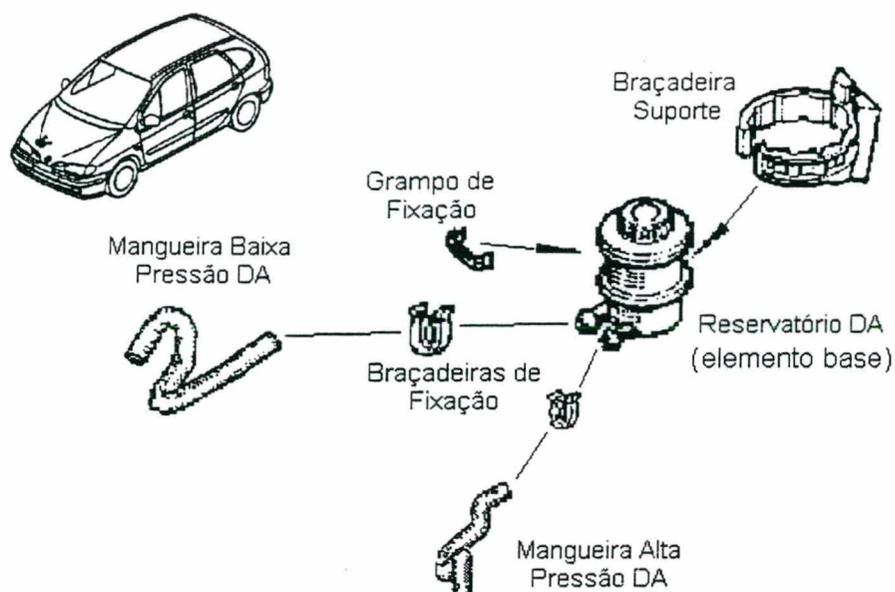


Figura 6.6 – (a) Desenho em explosão das peças constituintes do conjunto reservatório DA.

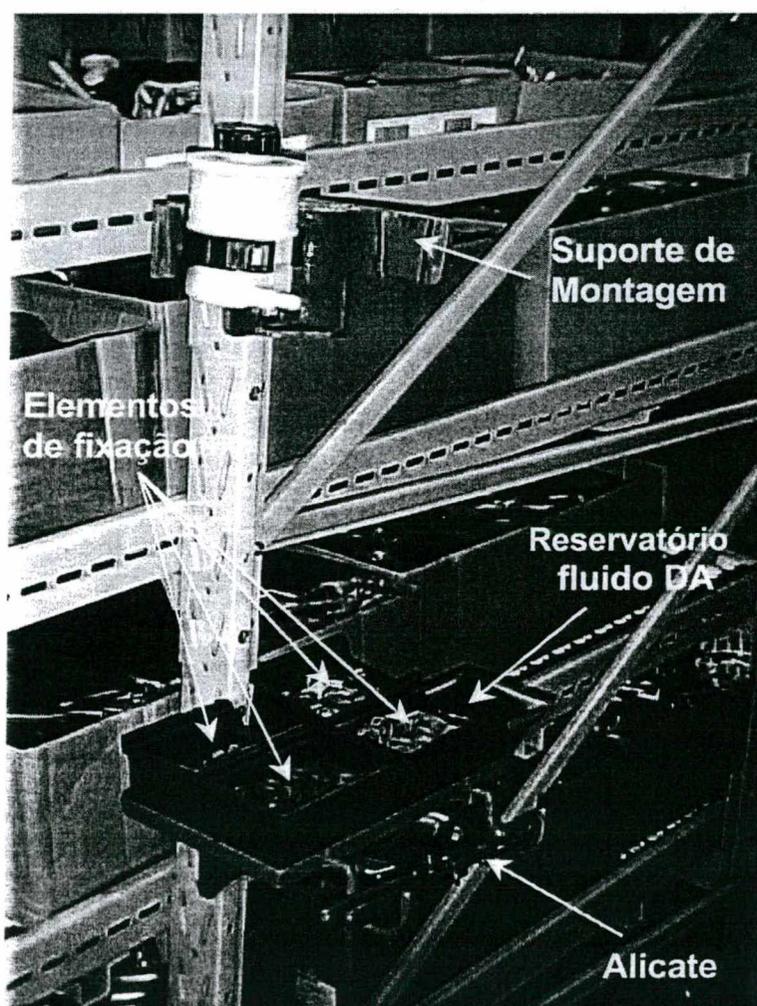


Figura 6.6 – (continuação) (b) Foto do dispositivo utilizado na montagem do conjunto reservatório DA.

Decidiu-se conceber o dispositivo da Figura 6.6 (b) devido à dificuldade de encaixe do grampo de fixação e da necessidade de dispor das duas mãos livres para a montagem das mangueiras. Repare que os elementos de fixação são armazenados diretamente no dispositivo de montagem, o que permite que o operador realize a preparação do conjunto com um só deslocamento para o abastecimento das peças (reservatório DA, braçadeira suporte e mangueiras). Além disto, o dispositivo ainda possui um recipiente para o armazenamento de fluido de direção assistida, utilizado para facilitar a montagem das mangueiras, e de um suporte para o alicate empregado na montagem das braçadeiras.

Nas fábricas francesas os conjuntos são montados em um posto de preparação fora da estação de trabalho e transportados até o local de montagem. A sua montagem é feita em um dispositivo complexo, ocupando uma área relativamente importante. A simplicidade do dispositivo utilizado na FAS, permitiu que o mesmo fosse fixado junto a estante de armazenamento das peças na própria estação de trabalho, minimizando a área útil necessária, os tempos de montagem e os custos relativos a logística.

5 – Conjunto Radiador

Existem basicamente dois tipos de conjunto radiador, um para o modelo com ar condicionado e outro para o modelo sem ar condicionado. Cada um deles é formado pelas peças descritas na tabela 6.2. A Figura 6.7 (a) ilustra o conjunto radiador para um veículo com AC, apontando as suas principais peças.

Tabela 6.2 – Peças constituintes do conjunto radiador

Modelo AC	Modelo sem AC
Radiador	Radiador
Condensador	Defletor
Motor ventilador	Motor ventilador
Reservatório desidratador	Suporte reservatório DA
Sensor temperatura d'água	Sensor temperatura d'água
Fixações	Fixações

Estes conjuntos são preparados pelo próprio operador que realizará a sua montagem no GMP, com o auxílio da mesa de preparação da Figura 6.7 (b). Observe que deslizando a base de apoio em direção ao fundo da mesa de preparação, a parte

superior do radiador apoia-se nos batentes, sendo possível trabalhar na outra face do radiador para a montagem do condensador (modelo AC) ou do defletor (modelo sem AC). O aprovisionamento dos elementos de fixação, sensor de temperatura, reservatório desidratador e suporte reservatório DA, é realizado na própria mesa de preparação para evitar operações de deslocamento adicionais.

Os fatores que levaram a escolha desta submontagem são listados a seguir:

- Menor tempo de montagem com a utilização da mesa de preparação;
- Devido a facilidade de acesso, é recomendável montar o motor ventilador, reservatório desidratador, suporte reservatório DA e o sensor de temperatura antes da montagem do radiador no GMP;
- Melhor ergonomia, principalmente porque o radiador não fica na vertical durante a montagem das outras peças. Este fator também favorece a segurança durante a montagem, já que praticamente elimina o risco de queda em peças como o condensador e o motor ventilador;
- Como as fixações exigem três configurações de parafusadeiras diferentes e que não são encontradas em outras estações de trabalho, seria necessário instalar mais três novas parafusadeiras na linha de montagem. Esta ação certamente prejudicaria o desempenho final do operador em termos cognitivos.

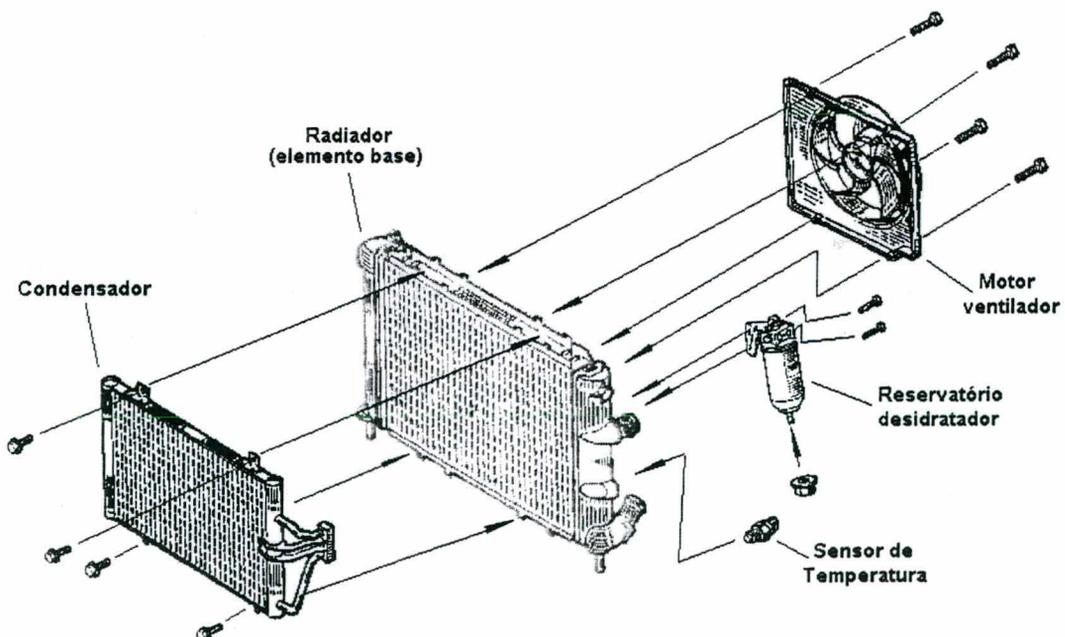


Figura 6.7 – (a) Desenho esquemático do conjunto radiador para um veículo com AC.

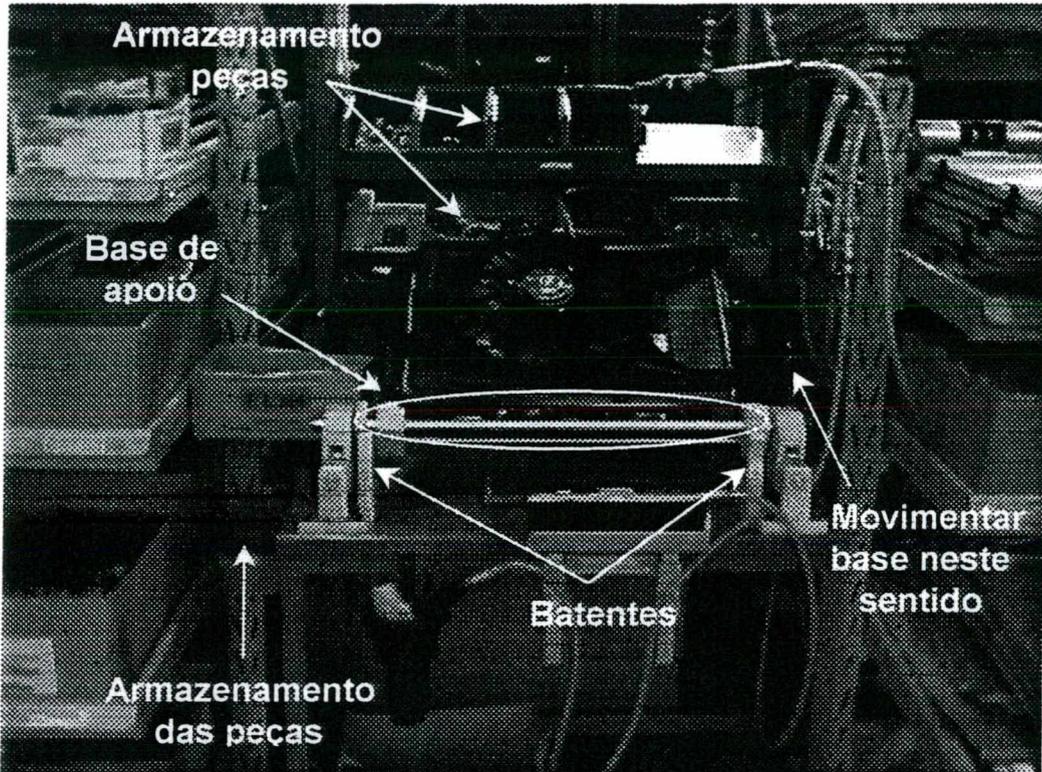


Figura 6.7 – (continuação) (b) Mesa de preparação utilizada na montagem do conjunto radiador.

6.5 – DEFINIÇÃO DAS OPERAÇÕES DE MONTAGEM

As operações de montagem dentro do grupo Renault possuem um formato padrão e devem fornecer as seguintes informações:

- Descrição da operação e recomendações de qualidade;
- Modelo de produto ao qual se aplica;
- Tempo (em minutos);
- Peças a serem montadas (quando existirem);
- Posição de montagem da peça em relação ao GMP/veículo;
- Ferramentas e consumíveis utilizados.

Aproximadamente 60% das operações foram aproveitadas de uma fábrica europeia que produz o mesmo modelo de veículo, as demais tiveram que ser criadas em função da diferença de processo e gráfico de montagem aplicado. O tempo das operações criadas foram determinados por meio da tabela de tempos Renault e do

MODAPTS para os casos mais complexos. A tabela de tempos Renault (Figura 6.8) foi construída com base no MTM3, e visa agilizar a análise do tempo de certas operações padrões dentro do processo de montagem da empresa.

CÓDIGOS	Gastos Normalizados		Definição	Tps	
SITAN	MOVER A MAO ≤ 7cm está integrado nas atividades "PEGAR - ABASTECER-SE - POR"				
DEPLMA1		Mover a mão 7< <15 cm	Mover a mão numa amplitude 7< <15 cm - Fora a carga manipulada	0,20	
DEPLMA2		Mover a mão 15< <40 cm	Mover a mão numa amplitude 15< <40 cm - Fora a carga manipulada	0,45	
DEPLMA3		Mover a mão >40 cm	Mover a mão numa amplitude >40 cm - Fora a carga manipulada	0,65	
PRENDRE	PEGAR	Pegar fácil	Pegar 1 peça ou 1 ferramenta com facilidade	0,45	
SAISIED		Pegar difícil	Pegar 1 peça ou 1 ferramenta com dificuldade	0,85	
PRELEVE		Pegar escolhendo	Pegar 2 à 3 peças simultaneamente com uma das mãos	0,85	
ABASTECER-SE					
SAISIEP		Pegar limitado	Pegar até 6 peças simultaneamente com uma das mãos	1,70	
APPRO		Pegar ilimitado	Abastecer-se de peças com a intenção de pegar o máximo possível	2,60	
SAISIER		Pegar com rejeição	Pegar e imediatamente rejeitar as peças em excesso	2,60	
DEPOSER	POR	Largar	Por num lugar qualquer ou sem posicionamento preciso	0,20	
PLACER		Colocar	Colocar / montar guiando-se por um dos eixos, centrar	0,65	
POSITIO		Posicionar	Posicionar / montar necessitando uma correção suplementar de alinhamento	1,30	
CORRIGE	PONDERAÇÃO	Correção	Reposicionamento complementar para suprir uma dificuldade de processo ou do produto	0,85	
AVEUGLE		Trabalho sem visão	Complemento para as atividades executadas sem visão	0,65	
APPUYER	ATIVIDADES ANEXAS	Apertar	Apertar com o dedo ou com a mão, encaixar	0,45	
LACHER		Soltar	Abri os dedos: para deixar cair um objeto, na perda de contato	0,20	
ENLEVER		Remover	Remover sem resistência de uma distância > 15 cm e < 50 cm	0,65	
TIRER		Puxar	Puxar de uma distância < 15 cm (um fio, um cabo, puxar uma braçadeira, etc.)	0,45	
FRAPPER		Bater	Bater com uma ferramenta após o "COLOCAR" ou diretamente com a mão	0,85	
DECOLLE		Descolar	Descolar um adesivo ou a proteção de um adesivo de uma única vez	1,70	
SECOUER		Sacudir	Sacudir depois de pegar para desembaraçar/desdobrar (conta-se 2 sacudidas)	1,70	
PLIER		Dobrar	Dobrar uma peça sobre ela mesma, em 2 partes	0,65	
JETER		Jogar	Dar um impulso/Jogar uma embalagem, um recorte opcional	0,65	
PRÉ-PARAFUSAR					
PREVRAP		Pré-parafusar rápido	Pré-parafusar por deslizamento do dedo - por movimento do dedo	0,45	
PREVNOR		Pré-parafusar normal	Pré-parafusar com o indicador e polegar - por movimento dos dedos	0,65	
PREVAMP		Pré-parafusar amplo	Pré-parafusar com o punho - por movimento do punho	1,10	
RESSAIS	RETOMAR	Ajeitar	Ajeitar na mão - modificar a posição do objeto sem a perda de contato	0,45	
CHANGMA		Trocar de mão	Trocar de mão na mesma posição	0,45	
TOURNEP		Virar o punho	Girar o punho menos de 1/4 de volta para reorientação do objeto - fora o pegar	0,45	
ESFORÇO					
EFFORT		Esforço	Suportar uma carga ou aplicar uma força entre 4 e 10 kg	0,85	
EFFORT+		Grande esforço	Suportar uma carga ou aplicar uma força entre > 10 kg	1,30	
ANDAR					
MARCHE		Andar (1 passo)	sem obstaculo - carga < 4kg	1 passo = 70 cm	1,00
MARCHEG		Andar c/ dificuldade (1 pas)	Com obstáculo evidente, obstrução visual ou com carga > 4kg	1 passo = 55 cm	1,00
MOVER O CORPO SOMENTE SE TODAS AS OUTRAS ATIVIDADES ESTÃO PARADAS					
INCLINE		Inclinar tronco	Inclinar o tronco - ângulo < 30° para inclinar-se e endireitar-se	0,65	
TOURNEB		Girar tronco	Movimento de torção do tronco	0,85	
BAISSER		Baixar-se	Inclinar o tronco acima de 30°	1,50	
REDRESS		Endireitar-se	Depois de baixar-se	1,60	
ASSIS		Sentar	Sentar-se - fora o manuseio de bancos em área livre	1,80	
ACCROUP		Agachar	Agachar ou sentar sobre 1 banquinho no habitáculo ou apoiar 1 joelho ao chão	2,00	
RELEVER		Levantar-se	Apos agachar ou sentar	2,00	

Figura 6.8 – Tabela de tempos Renault. Desenvolvida para agilizar o processo de determinação dos tempos de montagem [cedida pela Renault do Brasil S.A.].

Além das operações de montagem que normalmente agregam valor ao produto, ainda temos as operações variáveis (OPV`s). As OPV`s, como o próprio nome já diz, podem variar conforme a seqüência de operações aplicada e organização da estação de trabalho. As principais OPV`s utilizadas neste estudo foram as seguintes:

- Deslocamento do operador (1, 2, 3, 4,... passos);
- Pegar ferramenta (a uma distância pré-definida);
- Depositar ferramenta (a uma distância pré-definida);
- Utilização ferramenta (a uma distância pré-definida);
- Troca de soquete da parafusadeira;
- Depositar peça (varia conforme tamanho e peso);
- Retomar peça (varia conforme tamanho e peso);
- Pegar caixa porta peça/ferramenta;
- Depositar caixa porta peça/ferramenta.

Os comentários entre parênteses referem-se aos critérios adotados para definição do tempo destas operações. Desta forma, por exemplo, temos diversas OPV`s para o deslocamento, sendo que cada uma possui um tempo correspondente ao número de passos realizado pelo operador.

Nem sempre é fácil identificar onde uma OPV é necessária, pois em certos casos podemos “mascarar” o seu tempo durante a realização de outra atividade. Exemplo: durante o aperto de uma porca ou parafuso pode-se pegar uma peça com a outra mão, ou durante o deslocamento pode-se efetuar a troca de um soquete. Esta análise é importantíssima, já que as OPV`s teoricamente não agregam valor ao produto e o objetivo é minimizar o tempo gasto com estas operações.

Para a descrição da operação são utilizadas duas regras básicas, que consistem em utilizar verbos de ação no infinitivo e fazer uso de uma linguagem simples e clara, evitando termos extremamente técnicos e que possam levar a uma interpretação ambígua do texto. Estas recomendações são importantes, pois as operações são utilizadas para a formação dos operadores de montagem e servem de base para as análises realizadas pelo departamento da qualidade.

Para o estabelecimento dos tempos de montagem, levou-se em conta as seguintes considerações:

- Todos os elementos de trabalho que compõem as operações são baseados em gestos otimizados, assim como, realizados por operador experiente e treinado;
- Todas as embalagens permitem a retirada das peças com facilidade;
- Todo trabalho que pode ser realizado simultaneamente com as duas mãos, foram assumidos como tal;
- Como regra geral considerou-se que o pré-aparafusamento médio é constituído de apenas dois gestos.

6.6 – AVALIAÇÃO DOS RECURSOS TECNOLÓGICOS EXISTENTES / DISPONÍVEIS

Como optou-se pela montagem manual, este item não foi problemático para o projeto. Os dois principais pontos avaliados foram com relação ao equipamento de enchimento e parafusadeiras disponíveis.

Para a realização do enchimento do fluido DA e óleo da caixa de câmbio, optou-se pelo mesmo equipamento utilizado nas demais fábricas da Renault e principais montadoras do Brasil. Além de contar com uma vasta experiência no ramo, o fornecedor escolhido também possui um bom serviço de assistência técnica e prazo de entrega para as peças de reposição.

Com relação as parafusadeiras existia uma limitação contratual, que estabelecia a utilização de um fornecedor preferencial. A exceção eram os casos onde poderia haver um risco de qualidade no produto. Além disto, trabalhamos apenas com parafusadeiras pneumáticas e a bateria na linha de montagem do GMP (MO3). Apesar de todas as limitações impostas não encontrou-se muita dificuldade na especificação das mesmas, já que o fornecedor contava com uma grande linha de produtos, atendendo a quase todas as expectativas.

Os únicos problemas encontrados foram com relação ao tempo de montagem nos pontos de aplicação de torques elevados, onde se poderia dispor de parafusadeiras que uma vez acionadas realizassem o aperto sem a necessidade da presença do operador. Felizmente, esta perda de produtividade foi absorvida pelo balanceamento proposto.

6.7 – PROJETAR E/OU ADAPTAR O SISTEMA DE MONTAGEM

O sistema de montagem já havia sido projetado quando iniciou-se o estudo detalhado do processo de montagem, e com relação a este item o trabalho foi concentrado em cima da segunda pergunta do item 5.2.9:

2) Uma adaptação do sistema de montagem aumentaria a produtividade?

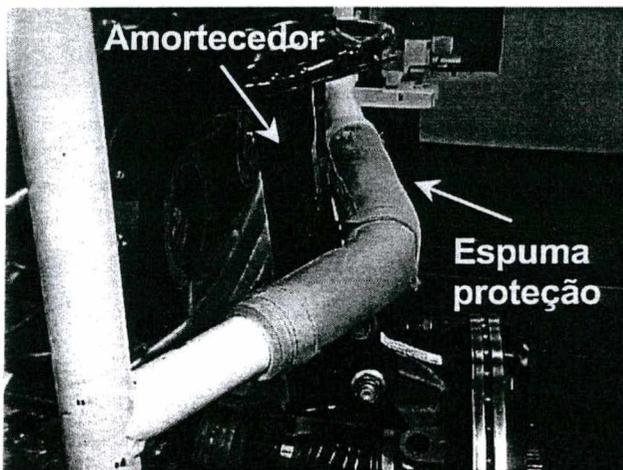


Figura 6.9 – Detalhe da espuma de proteção do amortecedor.

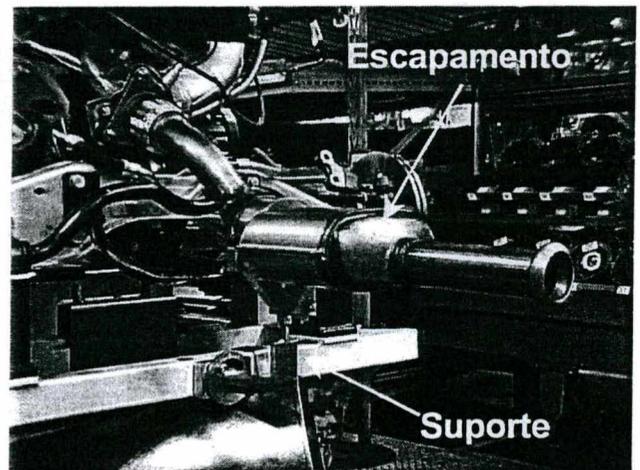


Figura 6.10 – Detalhe do suporte para o escapamento do motor 1.6 16 válvulas.

As primeiras adaptações foram sugeridas durante a montagem dos protótipos, e tiveram um maior impacto sobre a qualidade do produto e segurança do operador durante a montagem. Com relação a qualidade do produto, colocou-se espumas de proteção nos dispositivos de transporte da monovia MO3/ME1, visto que o contato destas áreas com o amortecedor danificava a pintura do mesmo, gerando uma condição propícia para o aparecimento de corrosão (vide Figura 6.9). Já a montagem do escapamento primário do motor 1.6 16 válvulas apresentava um risco de queda do mesmo, principalmente devido ao seu tamanho (800 mm de comprimento) e peso

(6 Kg). O operador era obrigado a posicioná-lo com as duas mãos, e ao mesmo tempo que pré-aparafusava as porcas de fixação, devia segurá-lo com a outra mão. Após a colocação do suporte ilustrado na Figura 6.10 a operação foi facilitada, obtendo-se uma melhoria na segurança e também uma diminuição do tempo de montagem.

Visando ganhos no tempo de montagem foram implementadas diversas adaptações, dentre as quais destacam-se duas: a instalação de cinco trilhos para a colocação dos balancins de sustentação das parafusadeiras e a diminuição da altura de espera do conjunto motor antes da descida sobre a linha do GMP.

O objetivo de colocar-se as parafusadeiras em balancins é poder instalá-las o mais próximo possível do seu local de utilização e melhorar a ergonomia, já que algumas delas chegam a pesar mais de três quilos. Inicialmente estavam previstos apenas dois trilhos para a instalação dos balancins para as 37 parafusadeiras que deveriam ser instaladas ao longo da linha. O excesso de parafusadeiras em determinados postos levaria a instalação das mesmas longe do local de utilização e tornaria difícil a distinção entre as mesmas durante a montagem (fator cognitivo). Com a instalação dos trilhos adicionais em determinados pontos este problema foi contornado, e mesmo com o aumento da diversidade de motores prevista até a metade do ano 2000 (8 motores com diferentes níveis de equipamento) não teremos problemas para a acomodação das novas parafusadeiras.

Antes de iniciar a operação para depositar o conjunto motor sobre o suporte de montagem do GMP (Figura 6.3), o mesmo ficava em espera a uma altura de 2,20 m definida no projeto inicial da linha de montagem. Após a realização de alguns testes, esta altura foi reduzida para 1,90 m, sem prejudicar as demais operações nem comprometer a segurança do operador. Como a velocidade de descida do conjunto motor era de 6,0 m/min, obteve-se um ganho de 0.05 min nesta estação de trabalho.

Na fase de implementação do novo processo na linha de montagem, surgem diversas sugestões que com um pequeno investimento levam a um ganho considerável de produtividade. Durante esta etapa é fundamental o trabalho em grupo, principalmente da pessoa de processo com a fabricação, já que a maior parte das sugestões são provenientes dos próprios operadores. O incentivo a esta prática certamente trará benefícios a qualquer empresa, não importando o ramo de atividade.

6.8 – PROJETAR / REPROJETAR O PRODUTO

Neste estudo de caso o “produto GMP” já existia, e o trabalho foi principalmente voltado para a adaptação das peças constituintes ao processo empregado nas linhas MO1, MO3 e ME1. Devido ao baixo índice de automatização previsto para a FAS, verificou-se que a montagem de certas peças em linhas diferentes do que é normalmente feito na Europa, traria benefícios em termos de ergonomia, tempo de montagem e qualidade.

Uma comparação com o processo empregado na fábrica europeia não é viável, pois o mesmo é extremamente automatizado e a linha de montagem possui uma capacidade de 60 veículos/h, contra apenas 20 veículos/h da FAS. O que pode-se afirmar, é que em termos de tempo haveria um acréscimo de aproximadamente 0,6 min/veículo se fosse seguido o mesmo gráfico de montagem da fábrica europeia. Este acréscimo seria principalmente devido a problemas de acessibilidade aos locais de montagem e ergonomia.

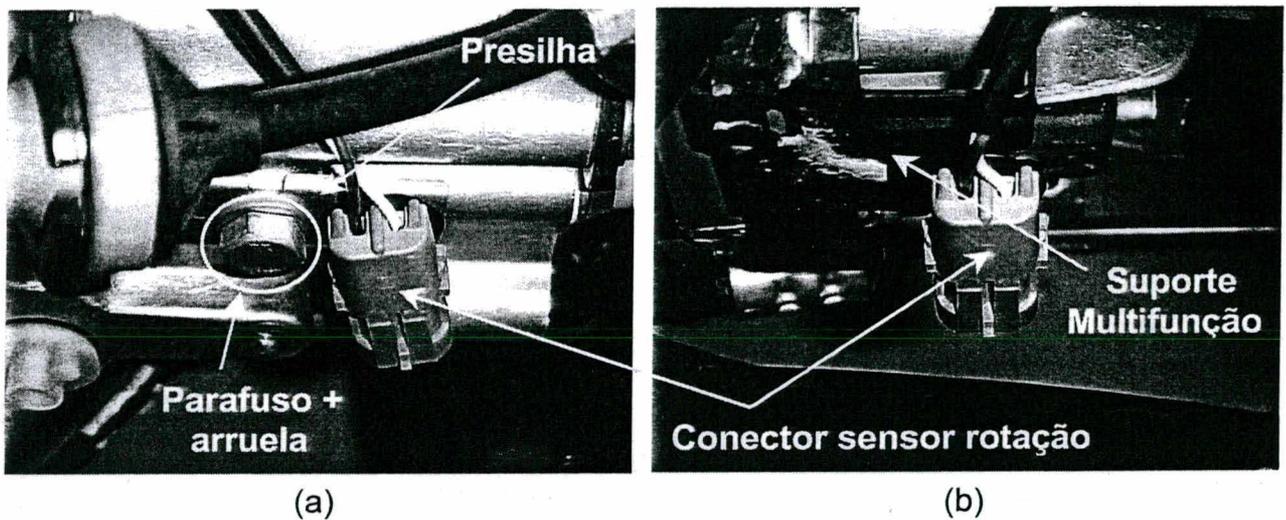


Figura 6.11 - (a) Antiga configuração para fixação do conector do sensor de rotação do motor (b) Nova configuração, após a eliminação da presilha, parafuso e da arruela.

A única alteração em relação a configuração inicial do produto, foi a eliminação de uma presilha, um parafuso M10 e uma arruela, utilizados para a fixação do conector do sensor de rotação do motor ilustrado na Figura 6.11a. O conector

passou a ser fixado sobre o suporte multifunção da Figura 6.11b, que possuía um local apropriado para sua fixação. O novo percurso proposto para o fio do sensor de rotação atendeu a todas as exigências necessárias e não exigiu nenhuma modificação nas peças envolvidas. Além da economia relativa a eliminação das três peças, houve uma redução de 0,18 min (sem contabilizar o deslocamento) no tempo de montagem. Esta otimização teve impacto em todos os motores 2.0 8 válvulas e 1.9 diesel turbo, que correspondiam a quase 70 % da produção prevista. Esta modificação também foi aplicada na demais fábricas do grupo Renault.

Durante a nacionalização dos tubos do circuito de ar condicionado e de direção assistida, foram realizadas modificações nas suas tampas plásticas. Estes tubos devem chegar a linha de montagem fechados, para evitar a contaminação com poeira ou umidade que prejudicam o funcionamento de ambos os circuitos. No projeto inicial, as tampas plásticas preconizadas eram difíceis de serem retiradas no momento da montagem, ainda mais que todos os operadores utilizam luvas de proteção. Através de uma modificação no formato das mesmas, e sem degradar a sua funcionalidade ou gerar custos adicionais, conseguiu-se modificar a sua geometria e ganhar cerca de 0,02 min no tempo gasto para a retirada de cada uma delas. Considerando-se que o GMP de um veículo com ar condicionado e direção assistida (100% do mix de produção) possui em média dez tampas plásticas, conseguiu-se um ganho de aproximadamente 0,20 min/veículo fabricado. Como estas modificações também tiveram efeito nos veículos montados na Fábrica da Renault Argentina, não é difícil imaginar os ganhos obtidos com a produção de um ano.

Outro estudo, que apesar de não alterar a configuração do produto gerou um ganho de produtividade, foi realizado em cima dos elementos de fixação. Além da padronização dos componentes e torques de fixação, procurou-se, sempre que possível, utilizar parafusos e porcas que possuam chanfros na região inicial da rosca e fazer uso de parafusos com arruelas integradas ou porcas com ressalto. Estas alterações contribuem para reduzir o tempo gasto com o pré-aparafusamento e na montagem das arruelas. Este estudo foi realizado em conjunto com a equipe de projeto da Renault na França, que realizou todos os ensaios de validação necessários em cada caso.

6.9 – AGRUPAMENTO DAS PEÇAS

Devido ao elevado número de peças, utilizou-se exaustivamente do agrupamento para reduzir a complexidade do PSM. O GMP foi dividido em diversos grupos, e para cada um deles foi estabelecida uma seqüência ideal. Salvo casos especiais, a divisão dos grupos foi realizada de acordo com a função que as peças executam no produto. A Figura 6.12 traz o exemplo de três grupos formados: barra estabilizadora, caixa de direção e escapamento primário.

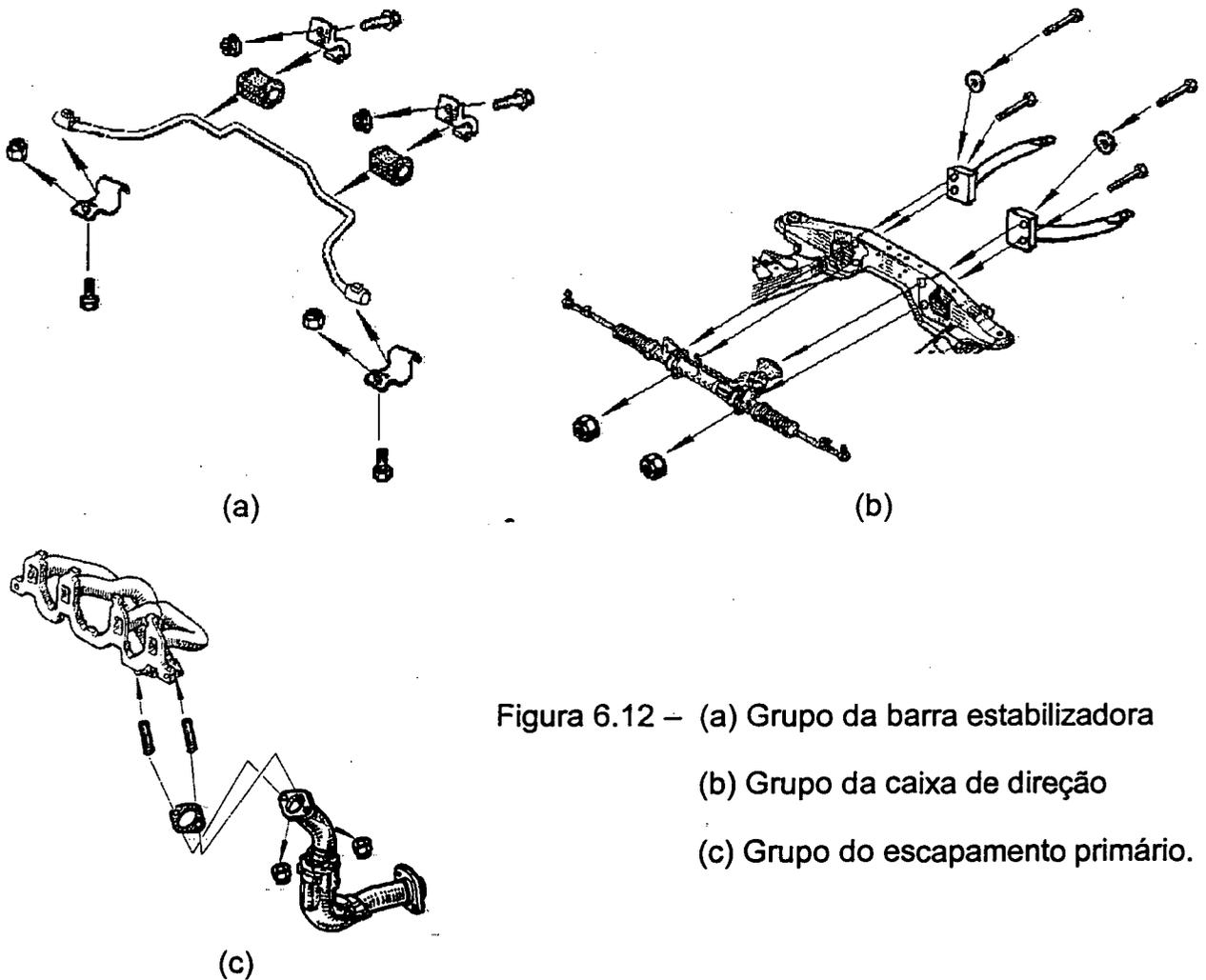


Figura 6.12 – (a) Grupo da barra estabilizadora
(b) Grupo da caixa de direção
(c) Grupo do escapamento primário.

6.10 – ANÁLISE DAS RESTRIÇÕES, ESTABELECIMENTO, AVALIAÇÃO, SIMULAÇÃO E ESCOLHA DAS SEQÜÊNCIAS DE MONTAGEM

Após o agrupamento das peças, parte-se para o estabelecimento da seqüência de montagem a ser adotada para cada um dos grupos. Em muitos grupos a seqüência de montagem é única, ou pode ser facilmente determinada através da experiência e das restrições impostas. Este é o caso da Figura 6.12 (c), onde as superfícies de contato estão dispostas em camadas e a seqüência de montagem é estabelecida sem a necessidade de uma análise mais detalhada.

Nos grupos mais complexos, utilizou-se a sistemática proposta por De Fazio e Whitney [Nevi89] para realizar a análise das restrições e estabelecimento das seqüências de montagem. A avaliação foi realizada com base nos critérios apresentados na seção 5.2.4 e validados através de uma simulação estática.

A sistemática consiste em construir um diagrama de ligação para o grupo em questão, e para cada ligação faz-se as seguintes perguntas:

P1) Qual (is) ligação (ões) deve (m) ser realizada (s) antes da ligação "i"?

P2) Qual (is) ligação (ões) não pode (m) ser realizada (s) antes da ligação "i"?

As respostas são as relações de precedência, que podem ser representadas através de combinações lógicas como nos exemplos a seguir:

a) P1 para a ligação 10?

As ligações 3 e 7 ou 8 devem ser realizadas antes da 10, ou seja:

$3 \text{ e } (7 \text{ ou } 8) \rightarrow 10$

b) P2 para a ligação 10?

As ligações 5 e 9 não podem ser realizadas antes da 10, ou seja:

$10 \rightarrow 5 \text{ e } 9$

O número de ligações está relacionado com o número de peças através da seguinte fórmula [Nevi89]:

$$(n-1) \leq l \leq \left(\frac{n^2 - n}{2} \right) \quad (6.1)$$

onde “n” é o número de peças e “l” o número de ligações. Logo para um grupo com 6 peças teremos entre 5 e 15 ligações, o que representa um número de questões a serem respondidas entre 10 e 30. A partir desta informação e do conhecimento prévio da complexidade das montagens a serem realizadas, tem-se uma idéia da carga de trabalho a ser dispensada no estudo de cada um dos grupos.

De posse destas informações, constrói-se um diagrama para representar todas as seqüências de montagem possíveis para cada um dos grupos anteriormente determinados. O diagrama utilizado parte do produto desmontado e permite representar todas as seqüências de montagem possíveis. A seção 6.10.1 apresenta o exemplo da análise realizada no grupo do braço inferior de suspensão

6.10.1 – EXEMPLO: GRUPO DO BRAÇO INFERIOR DE SUSPENSÃO

➤ Descrição do grupo braço inferior de suspensão

Este grupo é composto por oito peças distintas (vide Figura 6.13), sendo que existe uma simetria entre a montagem dos braços inferiores de suspensão direito e esquerdo. A seguir encontram-se listadas as peças constituintes deste grupo:

- a) Agregado (elemento base – grande número de interfaces e maior peça);
- b) Parafuso longo;
- c) Arruela;
- d) Porca;
- e) Parafuso curto;
- f) Cantoneira fixação reforço;
- g) Porca auto travante;
- h) Braço inferior de suspensão.

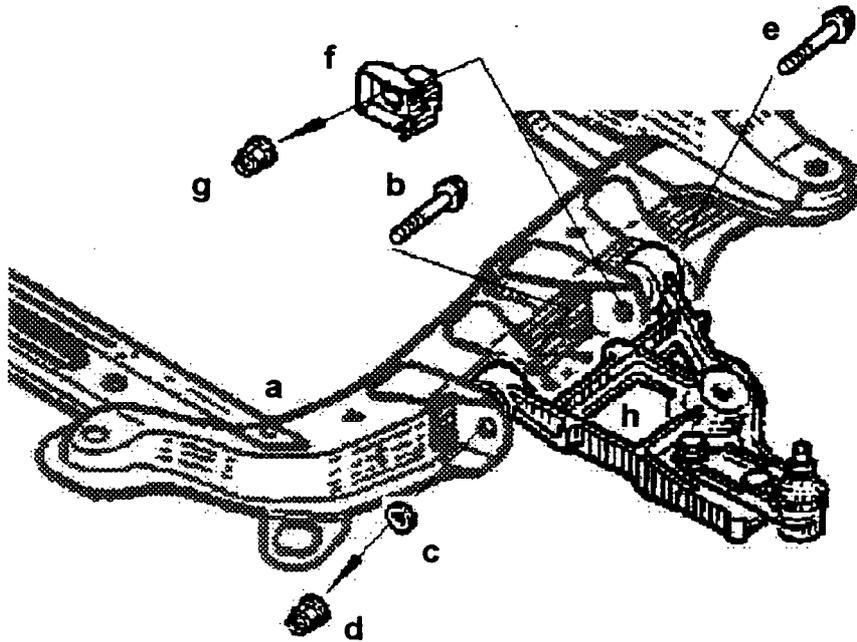


Figura 6.13 - Desenho em explosão das peças constituintes do grupo braço inferior de suspensão.

➤ **Diagrama de Ligação**

Conforme a fórmula anteriormente descrita, o número de ligações está compreendido entre 7 e 28 para uma montagem com oito peças. O diagrama de ligação para este exemplo possui treze ligações e é representado na Figura 6.14.

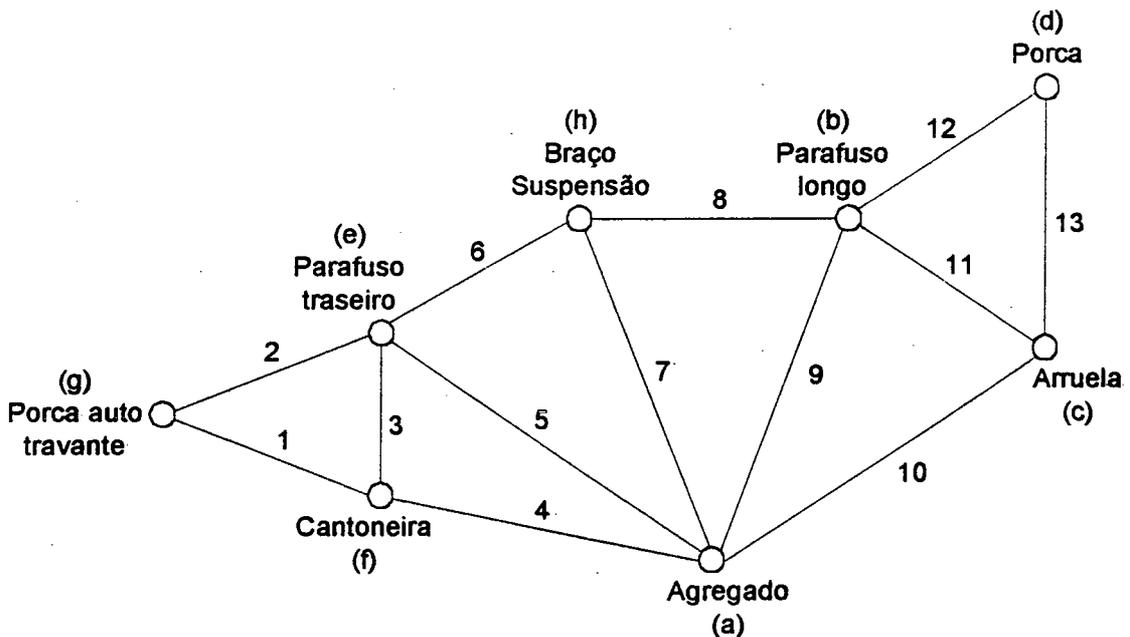


Figura 6.14 - Diagrama de ligação para a montagem do braço inferior de suspensão.

➤ Análise das Relações de Precedência

P1) Qual (is) ligação (ões) deve (m) ser realizada (s) antes da ligação “7”?

Ligação 1: 2, 3, 4, 5, 6, 7 → 1

Ligação 2: 3, 4, 5, 6, 7 → 2

Ligação 3: 4, 5, 6, 7 → 3

Ligação 4: 0 → 4

Ligação 5: 7 → 5

Ligação 6: 5, 7 → 6

Ligação 7: 0 → 7

Ligação 8: 7, 9 → 8

Ligação 9: 7 → 9

Ligação 10: 7, 8, 9, 11 → 10

Ligação 11: 7, 8, 9 → 11

Ligação 12: 7, 8, 9, 10, 11 → 12

Ligação 13: 7, 8, 9, 10, 11, 12 → 13

✓ Começar pelas ligações 4 ou 7

P2) Qual (is) ligação (ões) não pode (m) ser realizada (s) antes da ligação “7”?

Ligação 1: 1 → 0

Ligação 2: 2 → 1

Ligação 3: 3 → 1, 2

Ligação 4: 4 → 1, 2, 3, 5, 6

Ligação 5: 5 → 1, 2, 3, 6

Ligação 6: 6 → 1, 2, 3

Ligação 7: 7 → 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 13

Ligação 8: 8 → 10, 11, 12, 13

Ligação 9: 9 → 8, 10, 11, 12, 13

Ligação 10: 10 → 12, 13

Ligação 11: 11 → 10, 12, 13

Ligação 12: 12 → 13

Ligação 13: 13 → 0

✓ As últimas ligações devem ser a 1 ou a 13

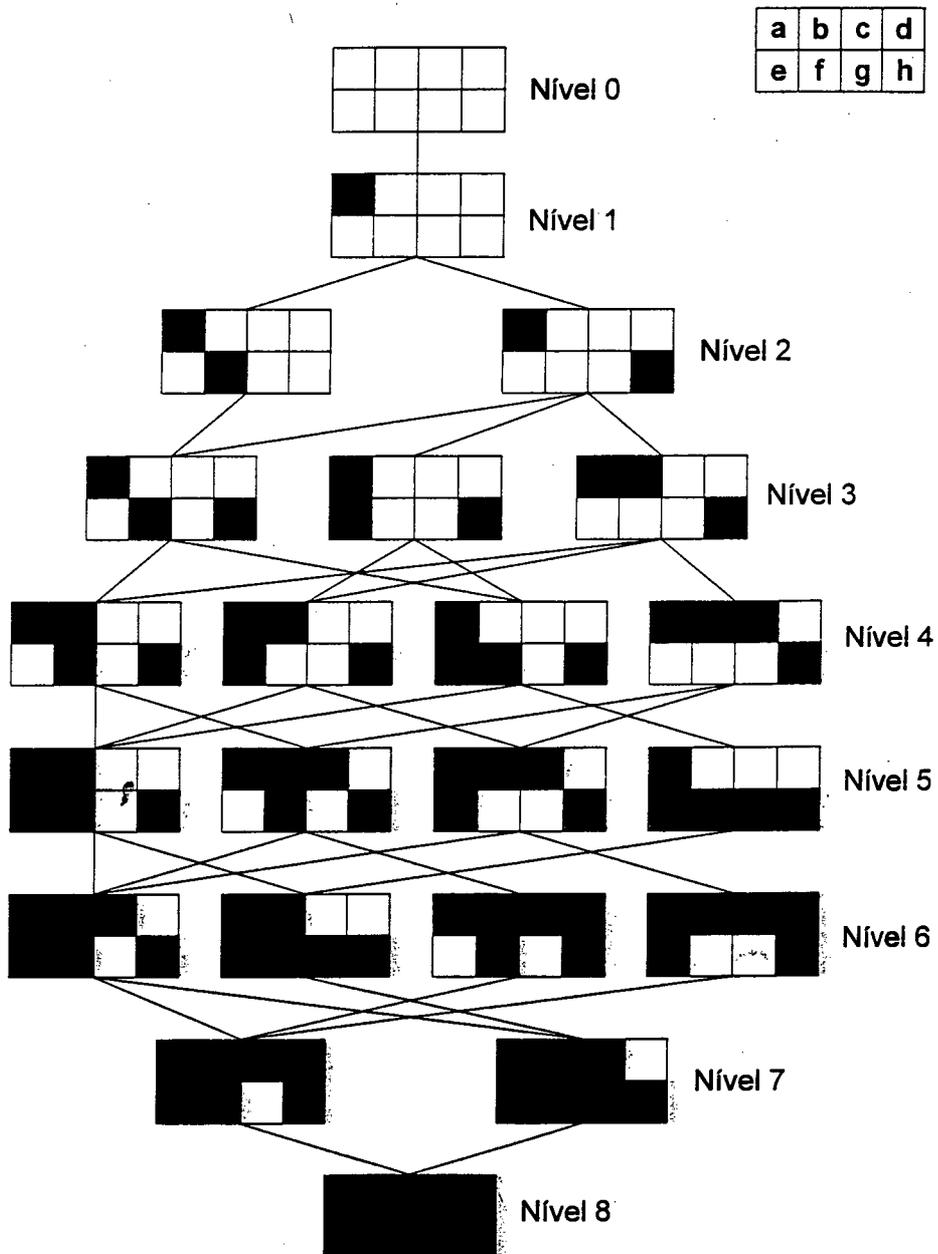


Figura 6.15 – Diagrama inicial representando todas as 48 seqüências possíveis para a montagem do braço inferior de suspensão.

Partindo destas relações de precedência e considerando o agregado como elemento base, construiu-se o diagrama da Figura 6.15. Este diagrama apresenta 48 diferentes seqüências de montagem que podem ser seguidas para a montagem das peças do grupo do braço inferior de suspensão. Neste diagrama considera-se que as porcas estão somente pré-aparafusadas e o seu aperto se dará após a montagem de todas as peças. Para contar o número de seqüências, inicie na parte inferior do diagrama e siga os seguintes passos:

1. Escreva um “1” no retângulo do último nível (aquele com o maior número);
2. Vá para o próximo nível (acima) e considere cada retângulo “R” deste nível. Siga as linhas que descem deste retângulo “R” e terminam em um retângulo “Ra” de um nível abaixo do considerado. Some os números encontrados em cada um dos retângulos “Ra” e escreva este número no retângulo “R”;
3. Repita o item 2 em cada um dos níveis superiores, incluindo o primeiro nível;
4. O número sobre o retângulo do primeiro nível é o número total de seqüências representadas no diagrama.

A Figura 6.16 foi construída a partir do diagrama inicial (Figura 6.15) e levando-se em consideração as seguintes imposições de processo:

- Após a montagem do agregado, o operador vai estar com todas as peças restantes na mão. Para a montagem do braço de suspensão esquerdo, o operador vai estar com a cantoneira e o braço de suspensão na mão esquerda e demais peças na mão direita;
- A segunda peça a ser montada deve ser o braço inferior devido ao seu tamanho;
- Para garantir o bom posicionamento e facilitar a montagem da cantoneira, ela deve ser montada antes do parafuso curto;
- Por questões de estabilidade, o parafuso curto deve ser montado logo após a cantoneira.

Com a aplicação destas imposições chegou-se a apenas quatro seqüências possíveis na Figura 6.16. Se considerarmos ainda que é mais prático montar o parafuso longo logo após o curto, chegaremos a apenas três seqüências de montagem. Para conseguir o melhor gesto, é aconselhável que se monte a arruela após o parafuso longo e em seguida a porca. Desta forma ficamos com apenas uma seqüência de montagem para este grupo:

$$a \Rightarrow h \Rightarrow f \Rightarrow e \Rightarrow b \Rightarrow c \Rightarrow d \Rightarrow g$$

Como citado anteriormente, a validação das seqüências se deu através de uma simulação estática, onde os próprios operadores realizavam a montagem e auxiliavam na validação das seqüências propostas. Em algumas ocasiões os operadores deram importantes contribuições em cima do que havia sido proposto, e através desta sinergia obteve-se ótimos resultados

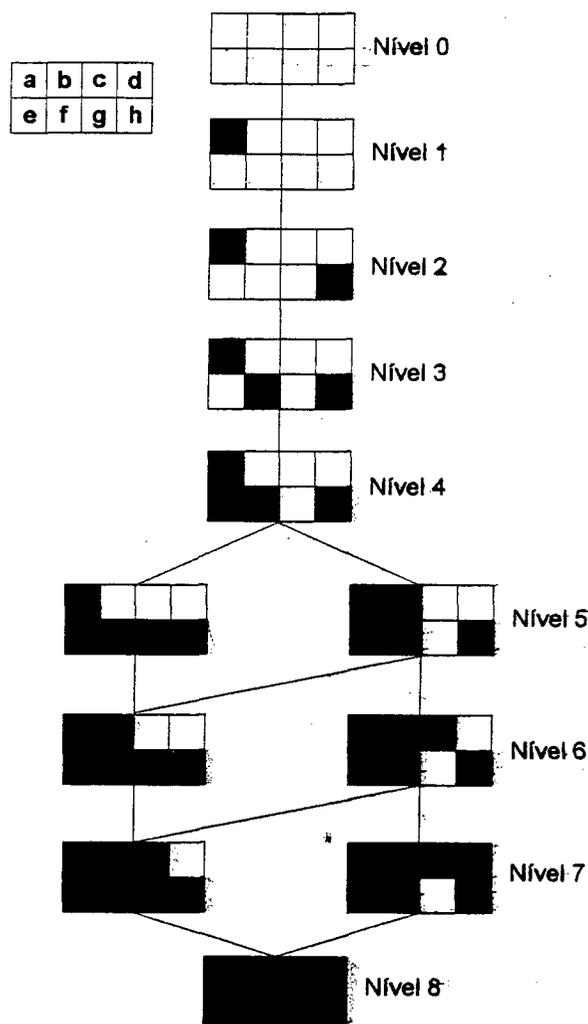


Figura 6.16 – Diagrama resultante após a aplicação das imposições de processo. Apenas quatro seqüências possíveis.

6.10.2 – ESTABELECIMENTO DA SEQÜÊNCIA DE MONTAGEM DO GMP E BALANCEAMENTO

Para a determinação da seqüência de montagem do GMP, considerou-se que cada grupo era uma peça única e foi seguida a mesma sistemática descrita na seção 6.10.1. Ao mesmo tempo que as seqüências de montagem eram determinadas, as operações de montagem já estavam sendo criadas e validadas. Isto facilitou o dimensionamento das estações de trabalho e a escolha das operações a serem realizadas em cada uma delas.

De posse de um diagrama geral para a montagem do GMP, partiu-se para o balanceamento da linha de montagem. Para a realização desta etapa foram levados em conta os seguintes critérios:

- A partir da experiência de outras fábricas do grupo, estimou-se que para o tempo de ciclo de 2,91 min, teríamos um percentual de OPV's que representaria de 15 a 20% do tempo da estação de trabalho. Em função disto, o objetivo era realizar um balanceamento com uma taxa de utilização das estações de trabalho que variasse entre 75 a 80% (sem OPV's);
- Como anteriormente descrito na seção 6.3, o equipamento para realização do enchimento foi instalado na estação de trabalho 09E (vide Figura 6.2 (b)). Fez-se uso de um simograma⁹ para o estudo desta estação de trabalho;
- Para diminuir o percentual de OPV's, decidiu-se concentrar as operações de montagem do chicote do motor em um só posto. Este fator elevou a meta da taxa de utilização deste posto para um valor entre 80 e 85%;
- Por questões de qualidade, as operações de montagem da caixa de direção devem ser realizadas ao mesmo tempo dos lados direito e esquerdo. Este fator nos obrigou a trabalhar com dois operadores nesta estação de trabalho;
- Idem para as operações de montagem da barra estabilizadora;

⁹ Simograma: também conhecido como diagrama homem-máquina. É uma representação gráfica de um ciclo de trabalho na escala de tempo, que permite estudar a carga de trabalho em estações onde existe a coexistência do homem e de uma máquina [Sati97].

- Após uma primeira análise no diagrama de montagem e nos tempos das operações, decidiu-se programar a descida do conjunto motor (seção 6.4) para a estação de trabalho três.

O gráfico da Figura 6.17 apresenta o balanceamento teórico obtido para a linha de montagem do GMP. Como a fábrica estava em fase de implantação, nem todos os operadores estavam totalmente familiarizados com o tipo de trabalho e eles foram submetidos a um forte treinamento. Após praticamente três meses os tempos teóricos foram atingidos, e hoje temos muitos operadores que conseguem abaixar o tempo dos postos em até 0,20 min.

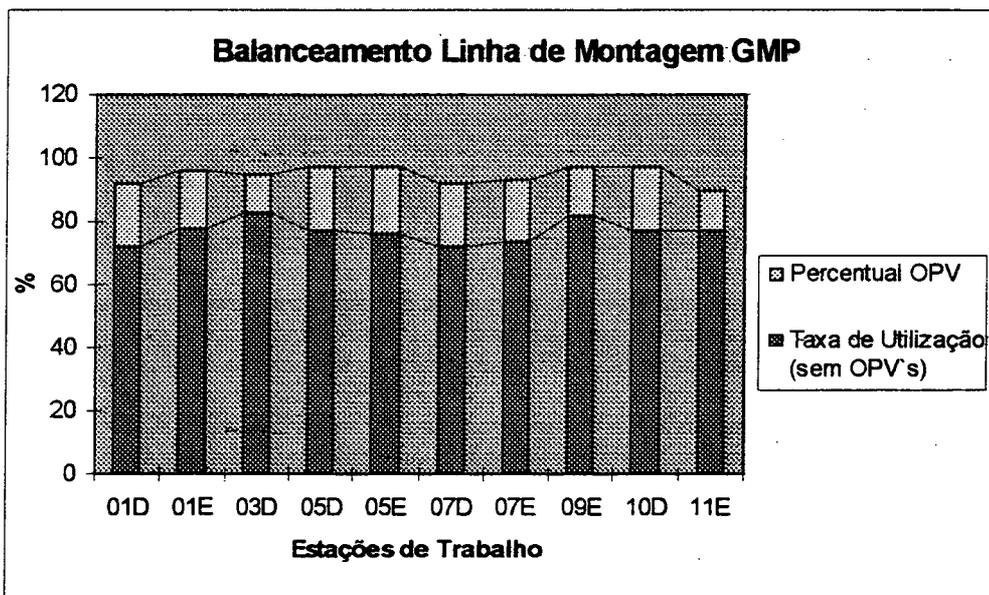


Figura 6.17 – Balanceamento teórico obtido para a linha de montagem do GMP.

Após a etapa de treinamento nas escolas de formação (Figura 6.2 (b)), os operadores finalizaram seu treinamento na própria linha de montagem. Na fase inicial trabalhamos com uma lacuna entre os GMP's, ou seja montávamos um GMP e o outro suporte de montagem passava vazio. Com isto, os operadores que não conseguissem atingir o tempo de ciclo tinham tempo para se recuperar. Após praticamente dois meses, a lacuna foi extinta e a linha passou a funcionar com um tempo de ciclo um pouco acima do objetivo. A cada semana o tempo de ciclo era abaixado, e após um mês a linha já estava na cadência correta ($t_c = 2,91$ min).

⁹ Simograma: também conhecido como diagrama homem-máquina. É uma representação gráfica de um ciclo de trabalho na escala de tempo, que permite estudar a carga de trabalho em estações onde existe

6.11 – CONSIDERAÇÕES SOBRE LOGÍSTICA / MOVIMENTAÇÃO DE MATERIAIS

Seguindo as orientações da seção 5.2.7, o presente estudo limitou-se a logística interna do sistema de montagem. Como grande parte das atividades logísticas tem um impacto direto sobre a organização geral do processo de montagem, decidiu-se adotar uma divisão de responsabilidades que envolvesse mais o departamento de processo. Em função disto, adotou-se a seguinte organização:

- Tudo que envolvia autonomia das peças e fornecimento síncrono foi tratado pelo departamento de logística industrial;
- O estudo sobre a implantação das peças, por ter influência direta na organização das estações de trabalho, foi realizado pelo departamento de processo (somente este item será detalhado no decorrer do trabalho);
- A determinação das embalagens e carrinhos para transporte dos subconjuntos foi feita pelo departamento de logística, mas todas as etapas de validação contaram com a participação de pessoas do processo.

Dentro do segundo item, as embalagens das peças foram divididas em dois grandes grupos:

1. **Pequenas embalagens (PE`s)**: embalagens que possuem até 15 kg e podem ser manuseadas por uma só pessoa;
2. **Grandes embalagens (GE`s)**: embalagens com mais de 15 kg ou que não possam ser manuseadas por uma só pessoa.

O objetivo é utilizar sempre que possível as embalagens de origem, mas como existem peças importadas (CKD – Completely Knocked Down) isto não é possível em todos os casos. Muitas peças CKD são acondicionadas em GE`s, exigindo um transbordo das peças para embalagens menores antes da sua implantação na linha de montagem. O transbordo é uma atividade cara pois exige tempo, cuidado e um espaço físico considerável, devendo ser evitada sempre que possível.

As PE's foram acondicionadas em estantes modulares de um e dois metros. Cada estante podia ser montada com até cinco níveis mais um para o retorno das embalagens vazias (nível superior). Cada nível era equipado com roletes para facilitar a alimentação e o retorno das embalagens por gravidade. Para o posicionamento das PE's na estante, procurou-se obedecer as recomendações ergonômicas da Figura 6.18, que estabelece qual a altura ideal em função do peso da embalagem.

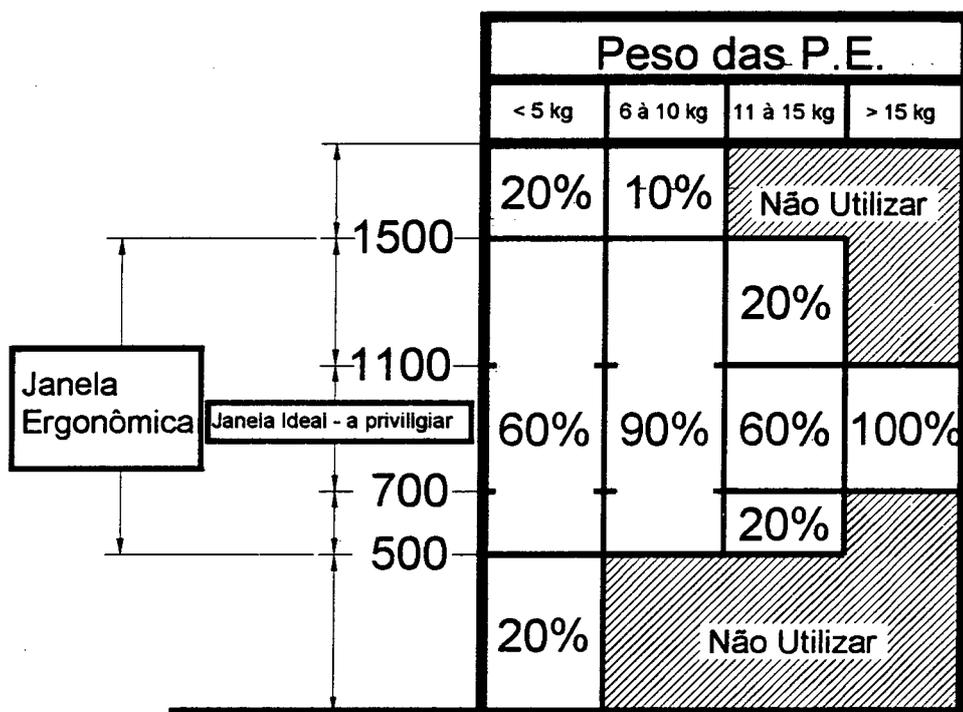


Figura 6.18 - Recomendações ergonômicas para o posicionamento das embalagens nas estantes, de acordo com o peso das mesmas.

Além dos conjuntos motor, amortecedor/mola e munhão/discos de freio, decidiu-se realizar o provisionamento dos semi-eixos de transmissão também de maneira sincronizada. Esta solução gerou uma série de custos adicionais, como a criação de uma zona de preparação onde recebe-se informações do modelo e seqüência de montagem, para a preparação dos carrinhos que transportam as mesmas até a linha de montagem. Tomou-se esta decisão porque não havia espaço suficiente na linha de montagem para a implantação das embalagens (6 GE's) e um transbordo poderia ocasionar problemas de qualidade em regiões sensíveis da peça.

Microsoft Excel - equipamento.xls

60%

Arquivo T2

F2

TRECHO: SE4

Nº POSTE: 06E

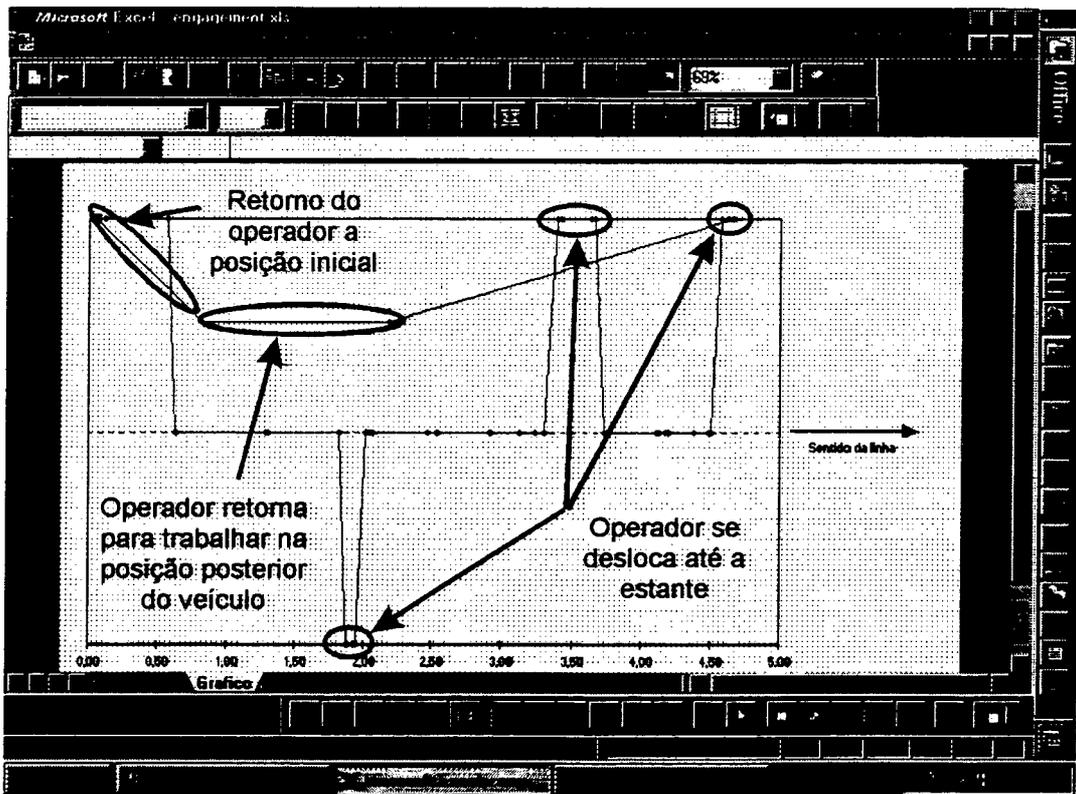
Campos de preenchimento obrigatório

Posição em "x" de veículo ao tempo 0 (em metro) =

Nº Seq.	Obs.	Operação	Descrição da operação	Tempo		Posição trabalho em "x"	Posição trabalho em "y"	valor "x"
				Incl.	Cumul.			
1		038 1060	Pegar 1 pendular do caixa + 1 borracha de pendular. Deixar na mesa de armazenamento.	0,03	0,03	d	p	0,06
2		035 1055	Pegar e colocar 1 asserecedor na pendular.	0,04	0,07	d	p	0,12
3		038 1060	Colocar borracha na pendular. Pegar 2 parafusos + 2 porcas + 2 arruelas. Colocar arruelas nos parafusos. Encostar 2 porcas nos parafusos até contato.	0,26	0,33	d	p	0,57
4		OPV	Andar até o carro (1 passo).	0,03	0,36	d	m	0,62
5		OPV	Deixar parafusadeira 1 no painel.	0,01	0,37	d	m	0,64
6		038 1060	Encostar o conjunto na travessa central, lado E. Posicionar 4 parafusos.	0,36	0,75	d	m	1,29
7		OPV	Pegar parafusadeira 1 do painel.	0,01	0,76	d	m	1,31
8		038 0000	Segurar o conjunto contra a travessa, fixar com 4	0,30	1,06	d	m	1,62
9		OPV	Andar até a prateleira para deixar a parafusadeira 1	0,03	1,09	d	t	1,67
10		OPV	Andar para pegar placa + cabos de conexão + defletor (1 passo).	0,01	1,10	d	t	1,69
11		162 0498	Pegar 1 defletor	0,02	1,12	d	t	1,92

Operações

(a)



(b)

Figura 6.19 – (a) Planilha de dados para a construção do gráfico de auxílio a implantação logística das peças na linha de montagem (b) Exemplo de um gráfico obtido através da aplicação da planilha.

De posse do primeiro balanceamento, ainda sem a análise final das OPV's, iniciou-se o estudo para o posicionamento das embalagens nas estações de trabalho. Os critérios adotados foram:

- Privilegiar o posicionamento das peças com maior consumo;
- Procurar posicionar os elementos de fixação nos níveis superiores das estantes;
- Posicionar as peças mais pesadas do posto entre 700 e 1100 mm de altura (Figura 6.18);
- Colocar lado a lado as embalagens de peças que são utilizadas no mesmo instante;
- No caso de existirem dispositivos de preparação, procurar implantar as peças no próprio dispositivo ou o mais próximo possível.

Para facilitar a análise de cada uma das estações de trabalho, desenvolveu-se uma planilha em Excel (Figura 6.19 (a)) que ajuda a descrever o movimento do operador em determinados instantes. Basta preencher os dados de entrada, e em instantes tem-se a trajetória percorrida pelo operador durante a realização das operações. Observando-se a Figura 6.19 (b), pode-se facilmente identificar onde o operador encontra-se antes de se deslocar para o aprovisionamento das peças. A partir desta informação, procura-se posicionar as embalagens das peças o mais próximo possível do seu local de utilização.

Para determinar o posicionamento correto das embalagens dentro das estantes, foi feito um estudo detalhado através do AutoCAD. Criou-se uma biblioteca contendo todas as embalagens, estantes, carrinhos e leiautes para cada uma das estações de trabalho. De posse das informações extraídas da planilha da Figura 6.19 (a) e das embalagens utilizadas para cada uma das peças, foi possível determinar o posicionamento exato das embalagens e das estantes para cada estação de trabalho.

A Figura 6.20 apresenta o exemplo de uma estante para a estação de trabalho 11E, onde encontram-se representadas as embalagens e uma lixeira para resíduos plásticos. Repare que na parte inferior da figura existem marcações que foram feitas para auxiliar na visualização da posição do operador com relação ao tempo. Também podem ser representados outros itens importantes da organização

das estações de trabalho, como dispositivos de preparação e suportes para ferramentas.

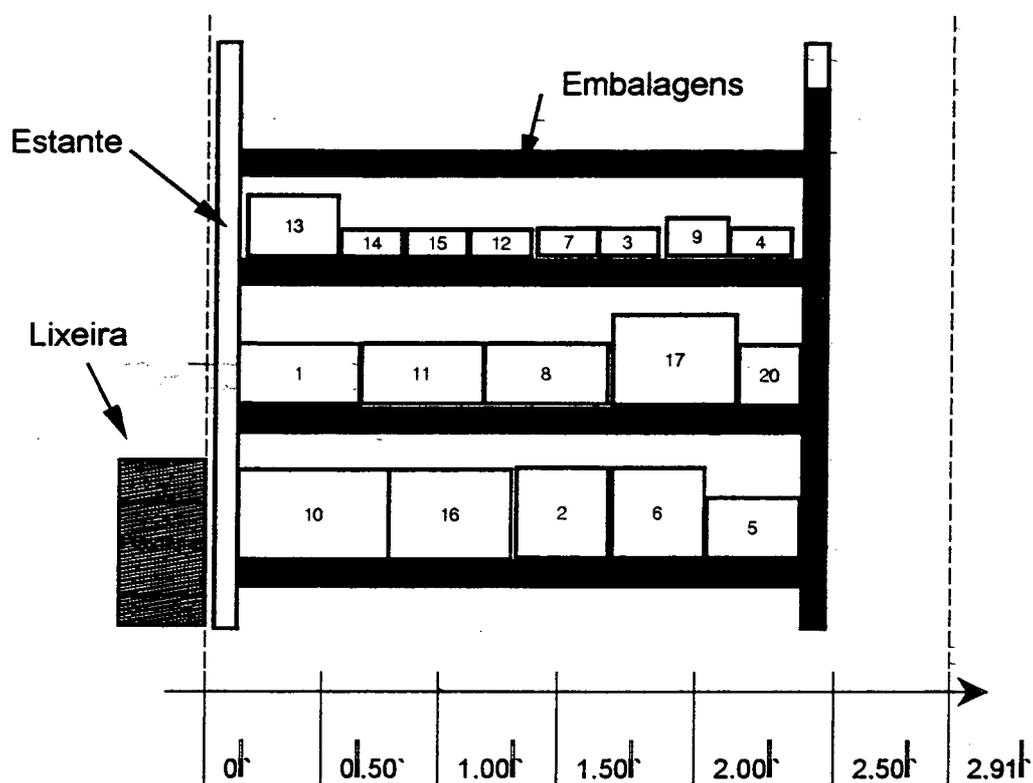


Figura 6.20 – Exemplo do estudo realizado para o posicionamento das embalagens na estante da estação de trabalho 11E.

6.12 – ELABORAÇÃO DA DOCUMENTAÇÃO DE PROCESSO

A documentação de processo faz parte do sistema de qualidade da empresa, sendo representada através de normas, procedimentos e instruções de trabalho. Como grande parte dela é confidencial, só foram dadas explicações superficiais a respeito dos documentos utilizados.

É a partir dela que os operadores de fabricação são treinados e uma parte dos custos de fabricação são controlados. Além disto são registradas informações relativas ao controle de máquinas e equipamentos, como estudos de capacidade, cartas de controle e dados relativos a calibração.

Os principais documentos utilizados neste estudo de caso foram:

- Operações de montagem (seção 6.4): documentadas em um sistema informático desenvolvido pela própria empresa;

- Sistema de identificação e controle de ferramentais: realizado em um sistema informático desenvolvido pela própria empresa;
- Fichas de instrução operatória: são fixadas junto ao local de utilização e contém informações visuais a respeito de detalhes da montagem de certas peças;
- Registros de calibração das parafusadeiras, torquímetros e instrumentos de controle: fazem parte de um banco de dados controlado pelos departamentos de controle e manutenção;
- Registros do equipamento de enchimento: estudos de capacidade, cartas de controle (CEP) e análise de modos de falhas e efeitos (FMEA). Realizados pelos departamentos de fabricação e processos, mas arquivados junto ao departamento de manutenção;
- Cartão de controle: ficha que acompanha o veículo durante toda a sua montagem. Nele são registrados os resultados de todos os testes e eventuais problemas encontrados durante a montagem. O cartão de controle de todos os veículos são arquivados e podem ser rastreados a qualquer momento através do número de chassis;
- Ficha embarcada: folha de papel que contém todas as informações relativas ao veículo que vai ser montado. Ela é formatada pelo departamento de processos em um sistema informático de integração da manufatura.

6.13 – IMPLEMENTAÇÃO

Conforme já visto na seção 5.2.9, a etapa de implementação é crítica, principalmente porque deve-se coordenar uma série de atividades distintas ao mesmo tempo. Além do mais, existe um número elevado de interlocutores que também possuem níveis culturais e sociais diferentes. Para o seu sucesso é imprescindível que exista um espírito de equipe e que todos possuam o mesmo objetivo.

O gerenciamento desta atividade deve ser feito de uma maneira racional, buscando sempre cumprir o que foi preestabelecido e redirecionando corretamente os recursos quando forem detectados problemas que possam comprometer o projeto.

Nas reuniões hebdomadárias de avanço do projeto, os problemas encontrados eram listados, priorizados e cada um dos responsáveis pelas ações corretivas definia uma data prevista para a resolução dos mesmos. O resultado era uma lista única de problemas (LUP), com gráficos que informavam o número de questões existentes, a prioridade e o avanço na resolução de cada uma delas.

Uma questão LUP, além da prioridade estabelecida, era caracterizada por cinco diferentes níveis correspondentes ao avanço obtido na resolução da mesma. Estes níveis correspondiam aos seguintes estados:

- Nível 1: problema somente identificado;
- Nível 2: análise das causas terminada;
- Nível 3: escolha da solução feita;
- Nível 4: aplicação realizada;
- Nível 5: validação da questão (a ser feita pelo cliente);
- Nível 6: questão fechada.

Observe que mesmo após a implantação da ação corretiva prevista, a questão LUP não era fechada, aguardando a verificação de sua efetividade.

A nível de controle das características relativas ao processo de montagem, foram realizadas avaliações em cada uma das linhas de montagem. Estas avaliações eram realizadas em conjunto com a fabricação, no final de algumas etapas pré-definidas (montagem dos primeiros protótipos, pré-serie, etc), utilizando o formulário apresentado na Figura 5.5. Os resultados obtidos em cada uma das etapas eram comparados e verificava-se o progresso obtido.

Estes dois meios de controle do projeto tinham como objetivos principais: identificar os problemas, estabelecer sua criticidade e verificar os impactos gerados sobre o processo de montagem. De posse destas informações era possível alocar os recursos disponíveis de uma forma mais racional e assegurar o cumprimento dos prazos estabelecidos. Os resultados da LUP e das cotações realizadas no processo de montagem geravam indicadores que eram periodicamente distribuídos a gerência e diretoria da empresa.

Durante a fase de planejamento é importante identificar as atividades críticas e monitorá-las com frequência de maneira a evitar todos os riscos. Por mais que se tenha pensado em todas as alternativas, sempre existirão situações inesperadas que deverão ser transpostas através do esforço de todos os envolvidos.

6.14 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo de caso teve início no segundo semestre de 1998 e a sua implementação se deu nos três primeiros meses de 1999. É difícil realizar uma estimativa correta do tempo gasto com a análise do PSM, já que a fábrica estava em fase de implantação e eram conduzidos diversos projetos ao mesmo tempo. Além disto, a empresa ainda não tinha uma estrutura totalmente definida e a maior parte do seu quadro de funcionários estava em formação.

Como não foi possível atuar de forma participativa no desenvolvimento do “produto GMP”, procurou-se de alguma forma tirar proveito deste fator. O primeiro ponto foi trabalhar em cima da linha de montagem que ainda não estava completamente implantada. Procurou-se adaptá-la aos produtos que iríamos montar e obter um sistema de montagem coerente com o produto a ser fabricado. Outro fator positivo de ter-se o produto em mãos, é que todas as validações podiam ser feitas com a peça final. Desta forma todas as características das peças (peso, dimensões, etc) puderam ser avaliadas de uma maneira precisa.

Durante a realização deste projeto, só aplicou-se a sistemática proposta na linha de montagem do GMP. Os resultados logo apareceram em termos de qualidade, tempo de montagem e satisfação dos operadores de montagem. Em termos de qualidade e tempo de montagem, esta linha foi a primeira a atingir os objetivos propostos até mesmo, antes do prazo previsto. A motivação dos operadores era elevada, pois estavam vendo o reflexo do seu trabalho nos resultados obtidos.

No segundo semestre de 1999 a mesma sistemática foi aplicada na linha de montagem SE4 (vide Figura 6.2 (a)), que estava enfrentando sérios problemas de balanceamento e organização das estações de trabalho com a implantação de um novo projeto para a montagem do veículo Clio II. Após dez semanas do início do trabalho, a linha já estava funcionando dentro dos padrões inicialmente estabelecidos.

Estes resultados comprovam a eficácia da sistemática proposta e servem de estímulo para a continuidade do estudo realizado até o momento.

Apesar disto, ainda não foi possível difundir esta sistemática para as demais linhas de montagem. A empresa já possuía uma metodologia de trabalho pré-definida, e não é fácil fazer com que todos aceitem uma nova forma de trabalho em poucos meses. Como descrito no capítulo 5, é necessário adaptar os conceitos apresentados ao produto a ser montado e a forma de trabalho da empresa. Mesmo assim, alguns conceitos aqui descritos já estão sendo aplicados e acredito que com o tempo se chegará a um ponto de equilíbrio.

O capítulo 7 apresentará as conclusões obtidas com a aplicação da sistemática proposta, apontando os pontos passíveis de melhoria e as principais contribuições em relação as abordagens descritas no capítulo 4.

CAPÍTULO 7

CONCLUSÕES

7.1 – COMENTÁRIOS GERAIS

A utilização de sistemáticas para a resolução de problemas tem o objetivo de orientar os envolvidos durante o desenvolvimento de um determinado estudo. A sistematização visa colocar em uma seqüência lógica as etapas a serem desenvolvidas para a solução final do problema em questão. A sistemática proposta no capítulo 5 foi determinada através da experiência adquirida e após o estudo de uma série de ferramentas existentes para a realização do PSM.

Em uma etapa inicial buscou-se reunir uma série de publicações a respeito do tema e classificá-las dentro das abordagens descritas no capítulo 4. A partir daí foi possível realizar uma comparação entre as mesmas e identificar os seus pontos fortes e fracos. Apesar de existirem diversos trabalhos publicados na área, sentiu-se a carência de uma sistematização das diversas atividades do PSM. Na maior parte dos trabalhos consultados as etapas são apresentadas, mas não de uma maneira que permita o entendimento do processo como um todo

A experiência industrial foi importante, pois ajudou a formatar a sistemática de uma forma compatível com a realidade de nossas empresas. Neste ponto, foram preciosos os conselhos de colegas da WEG Motores S.A. e da Renault do Brasil S.A. Durante o desenvolvimento do mesmo foi possível detectar que algumas atividades, que possuem um impacto direto sobre o PSM eram deixadas de lado, ou apenas citadas de uma maneira superficial. É o caso das considerações sobre a logística e movimentação de materiais, definição das operações, determinação das submontagens, elaboração da documentação de processo e implementação.

A descrição das etapas que vão desde o estabelecimento até a escolha das seqüências de montagem foi um ponto em comum entre muitos dos trabalhos consultados. Apesar de as publicações consultadas apresentarem diversas formas de realizá-las, o sequenciamento lógico entre cada uma destas etapas foi exatamente o mesmo. Isto prova que esta grande parte do PSM já está bem delineada e por isto mesmo foi tomada como base para a organização das demais etapas que fazem parte da sistemática proposta.

O estudo de caso realizado na linha de montagem da Renault do Brasil S.A., foi desenvolvido com sucesso e valida a sistemática proposta. Como o projeto em questão ainda estava numa fase inicial quando iniciou-se este estudo de caso, foi possível percorrer todas as etapas apresentadas na Figura 5.2.

É difícil mensurar os resultados obtidos com a aplicação da sistemática, mas é possível apontar alguns fatos que comprovam a sua eficiência. Dentre eles destacam-se:

- Cumprimento do prazo estabelecido para a implementação final;
- Coerência entre o que foi planejado e a prática;
- Balanceamento final obtido;
- Padronização dos torques e elementos de fixação;
- Ganhos obtidos através das duas modificações realizadas no produto, a saber: alteração nas tampas dos tubos do circuito de ar condicionado (ganhos no tempo de montagem) e supressão de uma presilha, um parafuso e uma arruela.

A principal dificuldade encontrada foi com relação ao tempo gasto para o estabelecimento das seqüências de montagem e escolha da melhor dentre elas. Apesar de ter-se aplicado o método proposto por De Fazio e Whitney [Nevi89], que é extremamente simples, esta atividade tornou-se enfadonha e dispendiosa em termos de tempo. A escolha da melhor seqüência foi dificultada, pois não tinha-se um bom nível de conhecimento com relação a montagem deste tipo de produto. Estes fatores deixaram claro que existe a necessidade de automatização da etapa de estabelecimento das seqüências de montagem, e que o conhecimento do produto e/ou experiência anterior são importantes para o bom desenvolvimento do estudo.

Na fase inicial do projeto também houve algumas dificuldades devido à falta de integração. Através da conscientização de toda a equipe e da realização de trabalhos em grupo foi possível intensificar a troca de informações e superar os obstáculos com maior facilidade. A sistemática também contribuiu para esta integração, já que estimula a realização de análises em conjunto com as áreas de fabricação, logística, processo e projeto.

Um ponto a ser destacado é a “formatação” da sistemática proposta, que mostrou conter todos os pontos necessários para a realização do PSM e estar adaptada a realidade de nossas empresas. Outros pontos positivos foram a simplificação obtida através da utilização do agrupamento das peças e a representação das seqüências de montagem através de gráficos. A metodologia de análise aplicada na implantação logística das estações de trabalho (seção 6.11) também é um ponto importante, e que pode servir de referência para o desenvolvimento de ferramentas que facilitem a realização de outras etapas do PSM.

Como procurou-se desenvolver uma sistemática geral, é necessário escolher as ferramentas de estudo para cada uma das etapas e adaptá-las a realidade da empresa. Além disto, não deve-se deixar de comentar que a organização do projeto como um todo, e o conhecimento dos meios de trabalho disponíveis também foram essenciais para o sucesso do mesmo. Resumindo-se: como em qualquer outra atividade, é preciso adaptar-se a sua realidade e procurar trabalhar da melhor maneira possível com os recursos disponíveis, visando sempre atingir as metas estabelecidas.

7.2 – RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como esta pesquisa teve um caráter geral, espera-se que outros trabalhos possam ser desenvolvidos a partir do mesmo. Atualmente o grande desafio seria criar, a partir da sistemática proposta, um sistema CAAPP interativo para a realização do PSM. Este sistema computacional poderia ser formado pelos seguintes módulos:

- Módulo para criação das operações de montagem e estabelecimento dos tempos (através de um mecanismo de reconhecimento de features, por exemplo);

- Módulo para geração das seqüências de montagem a partir das restrições existentes;
- Módulo para a realização do balanceamento das operações nas estações de trabalho, a partir das operações e tempos criados no primeiro módulo;
- Um módulo geral para a avaliação e escolha das seqüências de montagem, que poderia estar interligado com os demais, de maneira a avaliar os critérios julgados interessantes em cada uma das principais seqüências geradas. O mesmo poderia ser interativo e contar com uma janela de desenho que permitisse simular cada uma das montagens. Além disto, seria interessante que fosse possível estabelecer pesos para cada um dos critérios a serem avaliados (custo, tempo, ergonomia, etc.), conforme a situação exigisse.

Sabe-se que atualmente é inviável a automatização de todas as etapas, mas a criação de alguns deste módulos contribuiria bastante para a redução do tempo final de análise. É com certeza um trabalho que exigiria uma pequena equipe de projeto, com especialistas das áreas de montagem e programação.

BIBLIOGRAFIA

[Almg94]

ALMGREN R.. **Comparative Topological Modeling and Analysis of Assemblies and Assembly Systems: An Aid in Computerized Assembly Planning.** Proc. of the IEEE ICRA, 1994. p. 1468-1475

[Andr88]

ANDREASEN, M. M., KÄHLER, S., LUND, T. & SWIFT, K. G.. **Design for Assembly.** 2^a Ed.. IFS Publications/Springer-Verlag, 1988.

[Baar95]

BAARTMAN, J. P.. **Automation of Assembly Operations on Parts.** Dissertation T.U. Delft – ISBN 90-370-0119-X, 1995. Disponível na Internet. http://www-op.wbmt.tudelft.nl/pt/Online/Dissertation_Baartman/dissert.bk.html. 05 maio 1997.

[Back96a]

BACK, N. E FORCELLINI, F. A.. **Projeto Conceitual.** Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, abril de 1996. Notas de aula. Fotocopiado.

[Back96b]

BACK, N. E FORCELLINI, F. A.. **Projeto para Manufatura.** Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, abril de 1996. Notas de aula. Fotocopiado.

[Bäss88]

BÄSSLER, R. & SCHMAUS, T.. **Procedure for Assembly-Oriented Product Design.** Developments in Assembly Automation, IFS Ltd, March 1988. p. 137-153.

[Blan90]

BLANCHARD, B. S. & FABRYCKY, W. J.. **Systems Engineering and Analysis**. Prentice-Hall, 1990. p. 501-547.

[Bone89]

BONESCHANSCHER, N. & HEEMSKERK, J. M.. **Grouping Parts to Reduce the Complexity of Assembling Sequence Planning**. In: INCOM «89», 6th IFAC Symp on Information Control Problems in Manufacturing Technology. September 1989, Madrid.

[Boot89]

BOOTHROYD, G. & DEWHURST, P.. **Product Design for Assembly**. Dewhurst Inc., 1989.

[Boot92]

BOOTHROYD, G.. **Assembly Automation and Product Design**. Marcel Dekker, Inc., 1992.

[Bour84]

BOURJALUT, A.. **Contribution a une Approche Méthodologique de L'Assemblage Automatisé: Elaboration Automatiques des Séquences Opératoires**. Besancon, France, Novembre, 1984. Thèse d'État, Université de Franche-Comté.

[Bour94]

BOURJALUT, A., DJEMEL, N. & LUTZ, P.. **Petri Net Modeling for Multiproduct Assembly Systems Including Testing**. Proc. of the IEEE ICRA, 1994. p. 1700-1705.

[Bral86]

BRALLA, J. G.. **Handbook of Product Design for Manufacturing: A Practical Guide to Low-Cost Production**. McGraw-Hill Book Company, 1986. p. 7.79-7.100.

[Cell92]

SME. **Making Manufacturing Ceils Work**. SME - Society of Manufacturing Engineers in Cooperation with the Computer and Automated Systems. Dearborn, Michigan, 1992. p. 149 – 162.

[Chen94]

CHEN, K. & HENRIOUD J. M.. **Systematic Generation of Assembly Precedence Graphs**. Proc. of the IEEE ICRA, may 1994. p. 1476-1482.

[Chow90]

CHOW, W.. **Assembly Line Design: Metodology and Applications**. New York: Marcel Dekker, Inc., 1990. p. 111-155.

[Côrr96]

CÔRREA, H. L. E GIANESI, I. G. N.. **Just in Time, MRP II e OPT: Um Enfoque Estratégico**. 2ª Ed.. São Paulo: Atlas, 1996. p. 15-55.

[Dewh91]

DEWHURST, P. & SUBRAMANI, A. K.. **Automatic Generation of Product Disassembly Sequences**. Annals of the CIRP, Vol. 40, nº 01, 1991. p. 115-118.

[Ferr86]

FERREIRA, A. B. H.. **Novo Dicionário da Língua Portuguesa**. 2ª Ed.. Rio de Janeiro: Nova Fronteira S.A., 1986. p. 1156.

[Ferr96]

FERREIRA, J. C. E.. **Planejamento do Processo Assistido por Computador (CAPP)**. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1996. 184 f.. Notas de aula. Fotocopiado.

[Grew97]

GREWAL, S. & TRAN, P.. **Software for Assembly Line Balancing**. CSIRO, Div. Of Manufacturing Technology. Disponível na Internet. http://www.sydney.dmt.csiro.au/htdocs/pnt/lb_paper.htm. 12 junho 1997.

[Hand92a]

SME. **Tool and Manufacturing Engineers Handbook: Quality Control and Assembly**. 4ª Ed.. SME - Society of Manufacturing Engineers, 1992. Volume IV. p. 12.1-12.15.

[Hand92b]

SME. **Tool and Manufacturing Engineers Handbook: Design for Manufacturability**. 4ª Ed.. SME - Society of Manufacturing Engineers, 1992. Volume VI. p. 8.1-8.16.

[Heem89]

HEEMSKERK, C. J. M.. **The Use of Heuristics in Assembly Sequence Planning**. Annals of the CIRP, Vol. 38, nº 01, 1989. p. 37-40.

[Hito79]

HITOMI, K.. **Manufacturing Systems Engineering: A Unified Approach to Manufacturing Technology and Production Management**. London: Taylor & FRANCIS Ltd, 1979. p. 77-92, 137-140.

[Holb88]

HOLBROOK, A. E. K. & SACKETT, P. J.. **Design for Assembly: Guidelines for Product Design**. Developments in Assembly Automation, IFS Ltd, March 1988. p. 201-212.

[Jans91]

JANSON, L. I. & LUNDBORG, E. P.. **Relations Between Manufacturing Process and Product Structure**. ICED, 1991. p.529-535.

[Kana96]

KANAI, S., TAKAHASHI, H. & MAKINO, H.. **ASPEN: Computer Aided Assembly Sequence Planning and Evaluation System Based on Predetermined Time Standard.** Annals of the CIRP, Vol. 45, nº 01, 1996. p. 35-39.

[Kauf96]

KAUFMAN, S. G., RANDALL, W., RONDALL, E. J. & TERRI, C. L.. **The Archimedes 2 Mechanical Assembly Planning System.** Proceedings of the IEEE. International Conference on Robotics and Automation – 0-7083-2988-4/96, April 1996. p. 3361-3368.

[Krol96]

KROLL, E. & WOLTER, J.. **Toward Assembly Sequence Planning with Flexible Parts.** Proc. of the IEEE – 0-7083-2988-4/96, April 1996. p. 1517-1524.

[Lape92]

LAPERRIÈRE, L & ELMARAGHY, H. A.. **Planning of Products Assembly and Disassembly.** Annals of the CIRP, Vol. 41, nº 01, 1992. p. 05-09.

[Lenz96]

LENZ, E. & GEIGER, D.. **Probabilistic Reactive Disassembly Planning.** Annals of the CIRP, Vol. 45, nº 01, 1996. p. 49-52.

[Litt96]

LITTLE, D. & HEMMINGS, A.. **Scheduling Automated Assembly Systems.** Journal of Assembly Automation – ISSN 0144-5154, 1996. Disponível na Internet. <http://www.mcb.co.uk/services/articles/documents/aa/little.htm>. 22 outubro 1996.

[Mall94]

MALLOY, A. R.. **Plastic Part Design for Injection Molding: An Introduction.** Cincinnati: Hanser/Gardner Publications, Inc., 1994.

[Mant97]

MANTRIPRAGADA, K & WHITNEY, D.. **Assembly Oriented Design**. Massachusetts Institute of Technology-MIT, 1996. Disponível na Internet. <http://www.mit.edu:8001/afs/athena.mit.edu/user/k/r/krish1/www/assembly1.html#Defa87>. 22 fevereiro 1997.

[Mell86]

MELLO, L. H. & SANDERSON A.. **And/Or Graph Representation of Assembly Plans**. AAAI-86 Proc. 5th Nat'l Conf on AI. Robotics Institute, Carnegie-Mellon, CMU-RI-TR-86-8, April 1986. p. 1113-1119.

[Mell91]

MELLO, L. H. & SANDERSON A.. **Two Criteria for the Selection of Assembly Plans: Maximizing the Flexibility of Sequencing the Assembly Tasks and Minimizing the Assembly Time Through Parallel Execution of Assembly Tasks**. IEEE Transactions on Robotics and Automation 1042-296X/91, Vol. 7, n° 5, October 1991. p. 626-633.

[Nevi89]

NEVINS J. L. & WHITNEY D. E.. **Concurrent Design of Products and Processes: A Strategy for the Next Generation in Manufacturing**. McGraw-Hill Publishing Company, 1989. p. 197-277.

[Ogli96]

OGLIARI, A.. **Sistemas Especialistas: Conceitos, Características, Representação e Aquisição do Conhecimento, Ferramentas e Aplicações na Engenharia**. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, julho de 1996. 92 f.. Notas de aula da disciplina de Projeto Conceitual. Fotocopiado.

[Oliv90]

OLIVEIRA, D. L. M.. **Estudo Sistematizado das Técnicas do PPM: Projeto para a Montagem.** Florianópolis, 1990. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina.

[Palo96]

PALOMINO, R. C. E STANGE, P.. **Redes de Petri: «Propriedades, Análise e Aplicação a Sistemas de Manufatura».** Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1996. 50 f.. Notas de aula da disciplina de Engenharia da Qualidade. Fotocopiado.

[Paup96]

PAUPITZ, A.. **Princípios de Projeto para a Montabilidade.** Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, outubro de 1996. Trabalho não publicado.

[Pugh90]

PUGH, S. & HOLLINS, B.. **Successful Product Design: What to do and When.** Butterworths, 1990.

[Qian94]

QIAN, W. H. & PAGELLO, E.. **On the Scenario and Heuristics of Disassemblies.** IEEE 1050-4729/94, 1994. p. 264-271.

[Salo95]

SALOMONS, O. W.. **Computer Support in the Design of Mechanical Products: Constraint Specification and Satisfaction in Feature based Design for Manufacturing.** University Twente, 1995. Chapters 3 and 5. PhD Thesis. Disponível na Internet: <http://www.pt.wb.utwente.nl/staff/otto/thesis>. 04 outubro 1999.

[Sati97]

SATIN, W.. **Cronoanálise**. São Paulo: IMAM, 1997. 62 f.. Apostila do curso de cronoanálise oferecido pelo Instituto de Movimentação e Armazenamento de Materiais – IMAM. Fotocopiado.

[Swam95]

SWAMINATHAN, A. & BARBER, K. S.. **APE: An Experience-based Assembly Sequence Planner for Mechanical Assemblies**. IEEE International Conference on Robotics and Automation 0-7803-1965-6/95, 1995. p. 1278-1283.

[Töns92]

TÖNSHOFF, H. K., MENZEL, E. & PARK, H. S.. **A Knowledge-Based System for Automated Assembly Planning**. Annals of the CIRP, Vol. 41, nº 01, 1992. p. 19-24.

[Ullm92]

ULLMAN, D. G.. **The Mechanical Design Process**. MacGraw-Hill, Inc., 1992. p. 252-291.

[Weul89]

WEULE, H. & FRIEDMANN, TH. – SUBMITTED BY EVERSHEIM, W.. **Computer-Aided Product Analysis in Assembly-Planning**. Annals of the CIRP, Vol. 38, nº 01, 1989. p. 1-4.

[Weul94]

WEULE, H. & SPATH, D.. **The Utilization of Hypermedia-Based Information Systems for Developing Recyclable Products and for Disassembly Planning**. Annals of the CIRP, Vol. *****, nº *****, 1994. p. 153-156.

[Whit87]

WHITNEY, D. E. & FAZIO, T. L.. **Simplified Generation of all Mechanical Assembly Sequences**. IEEE Journal of Robotics and Automation, Vol. RA-3, nº 6, December 1987. p. 640-658.

[Zuss90]

ZUSSMAN, E., LENZ, E. & SHPITALNI, M.. **An Approach to the Automatic Assembly Planning Problem.** Annals of the CIRP, Vol. 39, n° 01, 1990. p. 33-36.