

MIGUEL NAVARRO MENA

**PROPOSTA DE UTILIZAÇÃO DA METODOLOGIA
E-MFG / PFS PARA O PLANEJAMENTO DE
DISPOSITIVOS DE FIXAÇÃO**

Dissertação apresentada à Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo para obtenção
do título de Mestre em Engenharia.

São Paulo

2004

MIGUEL NAVARRO MENA

**PROPOSTA DE UTILIZAÇÃO DA METODOLOGIA
E-MFG / PFS PARA O PLANEJAMENTO DE
DISPOSITIVOS DE FIXAÇÃO**

Dissertação apresentada à Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo para obtenção
do título de Mestre em Engenharia.

Área de Concentração:
Engenharia Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos

Orientador:
Prof. Dr. Diolino José dos Santos Filho

São Paulo

2004

Se hoje sigo por caminhos amenos é por estes terem
sido laborados por gigantes.

Este trabalho é dedicado aos gigantes de minha vida:
meu Pai e minha Mãe.

AGRADECIMENTOS

Acima de tudo agradeço a Deus Pai Criador da Vida, por permitir mais este valoroso aprendizado que jamais se apagará de minha memória, e por colocar em meu caminho tantos irmãos que, de uma forma ou de outra, colaboraram para o desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço a todos os trabalhadores desta instituição que, muitas vezes de forma anônima, colaboram com o desenvolvimento do saber.

RESUMO

A crescente disputa de mercado no setor produtivo tem motivado o desenvolvimento de pesquisas relacionadas a sistemas produtivos, sendo dado destaque as atividades relacionadas ao planejamento do processo, com objetivo de reduzir o tempo compreendido entre projeto e fabricação. Dentre as atividades pertinentes ao planejamento do processo evidencia-se a importância do planejamento de dispositivos de fixação de peças, que apesar de ser tema de várias pesquisas, ainda carece de abordagem sistêmica e abrangente. Neste trabalho apresenta-se uma proposta de sistematização do planejamento de dispositivos de fixação de peças prismáticas e sua relação com as demais atividades pertinentes ao planejamento do processo, classificando este sistema como um SED (Sistemas a Eventos Discretos) o que nos permite estudá-lo utilizando ferramentas derivadas das redes de Petri. A metodologia E-MFG/PFS, derivada das Redes de Petri, é empregada para elaborar modelos de controle formais que auxiliam no processo de síntese de dispositivos de fixação, a qual possibilita uma abordagem top-down, onde os detalhes do processo de planejamento de dispositivos de fixação são inseridos progressivamente a cada nível de refinamento. Esta técnica também proporciona vantagens similares ao do projeto de software, o que facilita a implementação. Para adequar a metodologia ao problema em questão, foi necessário estabelecer uma semântica alternativa para os elementos estruturais do PFS. Esta postura foi adotada porque a metodologia propriamente dita foi elaborada para ser aplicada no processo de síntese de sistemas de controle de sistemas produtivos. Para apresentar o resultado final, apresenta-se um estudo de caso, desenvolvido a partir dos modelos de controle obtidos, resultando na especificação do dispositivo de fixação de uma peça deste domínio.

ABSTRACT

The growing market dispute in the productive sector has boosted research related to productive systems, with a special focus on those activities contemplating process planning, aiming to cut down on the time gap between design and manufacture. One of the most important activities related to process planning is the planning of pieces fastening devices, which albeit being the subject of much research still lacks a systemic, broad approach. The present work proposes turning the planning of prismatic pieces fastening devices into a system, including its relation to the other activities connected to the process planning, classifying said system as DES (Discrete Events System) which allow their study in light of the theories born from the Petri nets. The E-MFG/PFS methodology, derived from the Petri nets, is used to develop formal control models that aid in the synthesis process of fastening devices, which makes possible a top-down approach, where the details of the fastening planning are progressively inserted at each refinement level. This technique also provides advantages similar to those from software design, which facilitates its implementation. To adapt the methodology to the problem at hand, it was necessary to establish a semantics alternative to PFS structural elements. This approach was chosen because the methodology was developed for use on the synthesis process of manufacturing systems control. A case study is used to illustrate the final result, developed from the resulting control models, leading to the specifications of a fastening device for a prismatic piece.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Planejamento do processo e dispositivos de fixação.....	3
1.1.1 Tipos de dispositivos.....	4
1.1.2 Importância da automação da fixação.....	5
1.2 Objetivo.....	6
1.3 Metodologia de pesquisa.....	8
1.4 Estruturação do texto.....	10
2 PESQUISAS RELACIONADAS AO PLANEJAMENTO DO PROCESSO.....	11
2.1 Desenvolvimentos realizados na área de fixação.....	12
2.2 Trabalhos realizados na área de seleção de ferramentas de corte.....	16
2.3 Deformação e dispositivos de fixação.....	20
2.4 Deficiências nas abordagens sobre planejamento do processo.....	23
3 CLASSIFICAÇÃO E MODELAGEM DE SISTEMAS.....	26
3.1 Estrutura do sistema.....	26
3.2 Sistemas de informação.....	27
3.3 Classificação dos sistemas.....	28
3.4 Modelo.....	31
3.5 Sistemas a Eventos Discretos.....	31
3.6 Visão sistêmica do planejamento de dispositivos de fixação.....	32
3.7 Abordagem antropocêntrica.....	34
3.8 Metodologia E-MFG / PFS.....	35
4 REPRESENTAÇÃO DO PRODUTO.....	37

4.1	Sistemas de coordenadas.....	37
4.2	Representação por “features”.....	41
4.3	Relação de dependência entre “features”.....	45
4.4	Representação dos elementos de fixação.....	49
5	MODELAGEM DO PLANEJAMENTO DE DISPOSITIVOS DE FIXAÇÃO..	51
5.1	Estrutura básica do planejamento de fixação.....	51
5.2	Seleção de “features”.....	53
5.2.1.1	Seleção da “feature” inicial.....	54
5.2.1.2	Modelo E-MFG para obtenção da “feature” inicial.....	56
5.2.2.1	Seleção de “features” análogas.....	59
5.2.2.2	Modelo E-MFG para obtenção de “features” análogas.....	60
5.3	Orientação e posicionamento da peça.....	62
5.3.1.1	Plano primário de localização.....	63
5.3.1.2	Modelo E-MFG para seleção do plano primário.....	68
5.3.2.1	Pontos de localização no plano primário.....	71
5.3.2.2	Modelo E-MFG para determinação de pontos de localização no plano primário.....	74
5.3.3.1	Plano secundário de localização.....	76
5.3.3.2	Modelo E-MFG para seleção do plano secundário.....	79
5.3.4.1	Pontos de localização no plano secundário.....	82
5.3.4.2	Modelo E-MFG para determinação de pontos de localização no plano secundário.....	84
5.3.5.1	Obtenção do plano terciário de localização.....	86
5.3.5.2	Modelo E-MFG para seleção do plano terciário.....	88

5.3.6.1	Pontos de localização no plano terciário.....	90
5.3.6.2	Modelo E-MFG para determinação do ponto de localização no plano terciário.....	92
5.4	Seleção de elementos auxiliares de localização.....	94
5.4.1.1	Seleção de calços e suportes.....	96
5.4.1.2	Modelo E-MFG para determinação de calços e suportes.....	97
5.4.2	Localizador de base	99
5.4.3	Seleção de calços para o localizador de base.....	100
5.4.4	Seleção de calços para os demais localizadores.....	102
5.5	Seleção de ferramentas e parâmetros de corte.....	104
5.6	Planos e elementos de sujeição.....	105
5.6.1.1	Planos de sujeição.....	106
5.6.1.2	Modelo E-MFG para seleção dos planos de sujeição.....	108
5.6.2.1	Pontos e elementos de sujeição.....	110
5.6.2.2	Modelo E-MFG para seleção de pontos e elementos de sujeição.....	113
5.7	Verificação de deformações.....	114
5.8	Seleção de blocos, bases e montagem final.....	115
6	APLICAÇÃO DA ESTRUTURA PROPOSTA	117
6.1	Matéria prima básica.....	119
6.2	Identificação das “features” da peça.....	119
6.3	Descrição geométrica das “features”.....	120
6.3.1	Descrição da “feature” composta F1.....	121
6.3.2	Descrição da “feature” composta F4.....	122
6.3.3	Descrição da “feature” composta F8.....	124

6.3.4	Descrição da “feature” composta F10.....	125
6.3.5	Descrição das “features” básicas.....	127
6.4	Matriz de remoção.....	130
6.5	Simulação dos modelos.....	131
7	CONCLUSÕES FINAIS.....	148
Anexo A	151
Anexo B	164
Lista de Referências	166

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 Desenvolvimento de metodologia com Redes de Petri.....	8
Figura 1.2 Os três aspectos principais na resolução de um problema.....	9
Figura 1.3 Ciclo de desenvolvimento da metodologia proposta.....	9
Figura 2.1 Tarefas pertencentes ao planejamento do processo.....	12
Figura 3.1 Fluxo de informações.....	28
Figura 3.2 Classificação dos sistemas.....	30
Figura 4.1 Exemplo de atribuição do sistema de referência da peça.....	39
Figura 4.2 Direção e sentido dos eixos do sistema de referência dispositivo / máquina aplicados a uma fresadora universal	40
Figura 4.3 Grupo básico de “features” para peças prismáticas.....	43
Figura 4.4 Aplicação do sistema de referência da peça e dimensões.....	44
Figura 4.5 “Features” de uma peça acabada.....	47
Figura 4.6 Modelo de matriz de remoção.....	49
Figura 5.1 Modelo PFS do planejamento de fixação.....	52
Figura 5.2 Modelo PFS da estrutura de planejamento de fixação proposto.....	53
Figura 5.3 Refinamento da atividade “Seleção de features”.....	54
Figura 5.4 Modelo PFS para obtenção da “feature” inicial.....	55
Figura 5.5 Modelo de controle E-MFG para obtenção da “feature” inicial.....	57
Figura 5.6 Modelo PFS para obtenção da “features” análogas.....	59
Figura 5.7 Modelo de controle para obtenção de “features” análogas.....	60
Figura 5.8 Refinamento da atividade “Seleção de planos e elementos de localização”.....	63

Figura 5.9 Modelo PFS para obtenção do plano primário, considerando-se que os elementos localizadores são posicionados em um único plano.....	65
Figura 5.10 Modelo PFS para obtenção do plano primário, supondo-se que os elementos localizadores possam ser distribuídos entre dois ou três planos.....	66
Figura 5.11 Modelo PFS para obtenção do plano primário.....	67
Fig. 5.12 Modelo de controle E-MFG para obtenção do plano primário de localização.....	69
Figura 5.13 Plano primário e os possíveis pontos de localização.....	72
Figura 5.14 Modelo PFS para determinação dos pontos de localização no plano primário.....	73
Figura 5.15 Modelo E-MFG para determinação dos pontos de localização no plano primário.....	74
Figura 5.16 Modelo PFS para obtenção do plano secundário, considerando-se que este seja composto por um único plano.....	77
Figura 5.17 Modelo PFS para obtenção do plano secundário, considerando-se que este seja formado por dois planos.....	78
Figura 5.18 Modelo PFS para obtenção do plano secundário de localização.....	79
Fig. 5.19 Modelo de controle E-MFG para obtenção do plano secundário de localização.....	80
Figura 5.20 Modelo PFS para determinação dos pontos de localização no plano secundário.....	83
Figura 5.21 Modelo E-MFG para determinação dos pontos de localização no plano secundário.....	84
Figura 5.22 Modelo PFS para obtenção do plano terciário de localização.....	87

Fig. 5.23 Modelo de controle E-MFG para obtenção do plano terciário de localização.....	89
Figura 5.24 Modelo PFS para determinação do ponto de localização no plano terciário.....	91
Figura 5.25 Modelo E-MFG para determinação do ponto de localização no plano terciário.....	92
Figura 5.26 Exemplo de pontos de localização e referências dimensionais.....	96
Figura 5.27 Modelo PFS para determinação de calços e suportes.....	97
Figura 5.28 Modelo E-MFG para determinação de calços e suportes.....	98
Figura 5.29 Disposição de elementos localizadores.....	100
Figura 5.30 Disposição de calços no localizador de base.....	101
Figura 5.31 Diagrama para aplicação da equação 5.2	102
Figura 5.32 Disposição de calços nos os demais localizadores.....	103
Figura 5.33 Diagrama para aplicação da equação 5.3.....	104
Figura 5.34 Refinamento da atividade “Seleção de planos e elementos de sujeição”.....	106
Figura 5.35 Sistema de coordenadas ortonormal e os dois planos de sujeição.....	107
Figura 5.36 Modelo PFS para obtenção dos planos de sujeição.....	108
Figura 5.37 Modelo de controle para obtenção planos de sujeição.....	109
Figura 5.38 Modelo PFS para obtenção dos elementos e pontos de contato no plano primário de sujeição.....	111
Figura 5.39 Modelo PFS para obtenção dos elementos e pontos de contato no plano secundário de sujeição.....	112

Figura 5.40 Modelo PFS para obtenção dos elementos e pontos de contato no plano terciário de sujeição.....	112
Figura 5.41 Modelo de controle para obtenção de pontos e elementos de sujeição.....	113
Figura 6.1 Perspectiva da peça a ser fixada.....	117
Figura 6.2 Projeção ortogonal da peça a ser usinada.....	118
Figura 6.3 Matéria prima básica.....	119
Figura 6.4 Representação das “features” a serem removidas.....	120
Figura 6.5 Composição da “feature” F1.....	121
Figura 6.6 Composição da “feature” F4.....	123
Figura 6.7 Composição da “feature” F1.....	125
Figura 6.8 Matriz de remoção.....	131
Figura 6.9 Modelo de controle E-MFG para obtenção da “feature” inicial.....	133
Figura 6.10 Montagem do dispositivo para usinagem da “features” F1.....	137
Figura 6.11 Montagem do dispositivo para usinagem de F1, sem representação do produto.....	137
Figura 6.12 Montagem do dispositivo para usinagem de F2.....	139
Figura 6.13 Montagem do dispositivo para usinagem de F2, sem representação do produto.....	139
Figura 6.14 Montagem do dispositivo para usinagem da “features” F6, F3, F7 e F11.....	141
Figura 6.15 Montagem do dispositivo para usinagem de F6, F3, F7 e F11 sem representação do produto.....	141

Figura 6.16 Montagem do dispositivo para usinagem de F13 ; F15 ; F4 ; F8 ; F5 e F9.....	143
Figura 6.17 Montagem do dispositivo para usinagem de F13 ; F15 ; F4 ; F8 ; F5 e F9 sem representação do produto.....	143
Figura 6.18 Montagem do dispositivo para usinagem de F10.....	145
Figura 6.19 Montagem do dispositivo para usinagem de F10 sem representação do produto.....	145
Figura 6.20 Montagem do dispositivo para usinagem de F12.....	147
Figura 6.21 Montagem do dispositivo para usinagem de F12 sem representação do produto.....	147

LISTA DE TABELAS

Tabela 6.1	Descrição geométrica da “feature” F1a	121
Tabela 6.2	Descrição geométrica da “feature” F1b	122
Tabela 6.3	Descrição geométrica da “feature” F1c	122
Tabela 6.4	Descrição geométrica da “feature” F4a	123
Tabela 6.5	Descrição geométrica da “feature” F4b	123
Tabela 6.6	Descrição geométrica da “feature” F4c	124
Tabela 6.7	Descrição geométrica da “feature” F8a	124
Tabela 6.8	Descrição geométrica da “feature” F8b	124
Tabela 6.9	Descrição geométrica da “feature” F8c	125
Tabela 6.10	Descrição geométrica da “feature” F10a	126
Tabela 6.11	Descrição geométrica da “feature” F10b	126
Tabela 6.12	Descrição geométrica da “feature” F10c	126
Tabela 6.13	Descrição geométrica da “feature” F2	127
Tabela 6.14	Descrição geométrica da “feature” F3	127
Tabela 6.15	Descrição geométrica da “feature” F5	127
Tabela 6.16	Descrição geométrica da “feature” F6	128
Tabela 6.17	Descrição geométrica da “feature” F7	128
Tabela 6.18	Descrição geométrica da “feature” F9	128
Tabela 6.19	Descrição geométrica da “feature” F11	129
Tabela 6.20	Descrição geométrica da “feature” F12	129
Tabela 6.21	Descrição geométrica da “feature” F13	129
Tabela 6.22	Descrição geométrica da “feature” F14	130
Tabela 6.23	Descrição geométrica da “feature” F14	130

Tabela 6.24	Marca utilizada na determinação da “feature” inicial.....	134
Tabela 6.25	Marcação final.....	134
Tabela 6.26	Informações para primeira montagem.....	136
Tabela 6.27	Informações para segunda montagem.....	138
Tabela 6.28	Informações para terceira montagem.....	140
Tabela 6.29	Informações para quarta montagem.....	142
Tabela 6.30	Informações para quinta montagem.....	144
Tabela 6.31	Informações para sexta montagem.....	146

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

O desenvolvimento tecnológico dos meios de informação (computadores, internet e mídia de forma geral) têm sido fundamentais para agilizar atividades pertinentes ao comércio e transações financeiras. O mercado consumidor têm acesso a produtos cujos fornecedores podem estar espalhados pelo mundo. Esta condição resulta em uma forte disputa de mercado no setor produtivo, sendo a inovação indicada como novo fator de sucesso, onde as empresas devem não apenas melhorar o produto existente, mas sim criar novos produtos (JUNQUEIRA, 2001).

Devido a este dinamismo, o tempo que compreende entre projeto e fabricação tende a ser reduzido e a competitividade da indústria fica então subordinada à sua capacidade de adaptação, ou seja, a indústria necessita de um sistema de manufatura flexível que proporcione mudanças rápidas e eficientes de forma a atender às necessidades do mercado.

Como grande parte dos produtos comercializados são obtidos, direta ou indiretamente por meio de processos de usinagem, os sistemas de manufatura baseados nesses processos devem ser suficientemente flexíveis para se adequarem à dinâmica de alterações dos produtos.

Para obtenção do produto deve haver interação entre projeto e fabricação.

No âmbito de projeto cabe especificar-se todos os requisitos físicos da peça, sua geometria, rugosidade, material, tratamentos superficiais e/ou térmico, tolerância geométricas e/ou dimensionais, etc.

À fabricação cabe executar-se e supervisionar a execução de uma seqüência de operações que devem levar a matéria-prima ao estado de produto acabado.

A interação entre projeto e fabricação é denominado planejamento do processo (SOUZA, 1998), o qual é composto por um conjunto de atividades, tais como: seleção de ferramentas de corte, determinação dos parâmetros de corte, seqüência de remoção, determinação da trajetória de corte e planejamento da fixação, (SARMA, 1998).

Neste contexto a automação do planejamento do processo representa uma boa alternativa para incrementar-se competitividade a indústria, reduzindo-se o tempo necessário entre projeto e fabricação.

Sendo assim, neste trabalho pretende-se contribuir de uma forma efetiva na descrição e representação das atividades pertencentes ao planejamento do processo.

1.1 Planejamento do processo e dispositivos de fixação

A relação existente entre as atividades pertinentes ao planejamento do processo tem sido tema de muitas discussões, e por não estarem ainda completamente consolidadas tem causado atraso em seu desenvolvimento (SOUZA, 1998).

Para que seja possível melhorar a compreensão da complexidade inerente ao planejamento do processo, é necessário que se aprimore o conhecimento a respeito das atividades que o compõem, e dentre estas atividades nosso interesse concentra-se no planejamento da fixação.

O planejamento da fixação é uma tarefa importante em sistemas de manufatura por influenciar diretamente na produtividade e na qualidade do produto obtido. Tradicionalmente, o planejamento da fixação tem sido realizado quase que exclusivamente pela experiência pessoal do projetista que planeja a fixação da peça. Porém, isto requer um horizonte de tempo excessivo para elaboração (KALE; PANDE, 2000). O planejamento assim desenvolvido pode impor restrições ao desenvolvimento das demais atividades do planejamento do processo, por estar atrelado ao conhecimento detalhado de cada uma destas atividades por parte do projetista, o que demonstra a importância de se equacionar de forma coerente a inter-relação existente entre o planejamento da fixação e as outras atividades pertencentes ao planejamento do processo.

A falta de uma metodologia¹ que possibilite gerar modelos que colaborem com a compreensão e que representem efetivamente o comportamento dinâmico das

¹ Abstraindo metodologia como sinônimo de um conjunto de métodos.

atividades concernentes ao planejamento do processo, constituem o principal desafio para seu desenvolvimento de forma automática. Sendo assim, contribuir para seu desenvolvimento constitui a principal motivação deste trabalho.

1.1.1 Tipos de dispositivos

Pode-se definir dispositivo de fixação como um mecanismo capaz de imobilizar peças à uma máquina ferramenta, durante seu processo de manufatura. Obtém-se um dispositivo de fixação, posicionando-se de forma estratégica ao redor da peça, pinos de localização, sujeitadores e suportes para que sejam aplicadas as forças de sujeição apropriadas (KRISHNAKUMAR; MELKOTE, 2000) ; (KUMAR et al., 2001).

Dispositivos de fixação podem ser subdivididos em três tipos distintos: modular, dedicado e híbrido (PERREMANS, 1996).

Os dispositivos modulares são compostos por elementos padronizados que podem ser montados, desmontados e novamente montados de várias maneiras, de forma a atender às necessidades de fixação de cada peça. Os elementos que podem compor um dispositivo modular são: localizador, sujeitador, suporte, espaçador e base.

Dispositivos modulares são geralmente utilizados em pequenos lotes de produção (PERREMANS, 1996) ; (HUANG et al., 1999) e (FANG et al., 2001), uma vez que permitem fácil reconfiguração.

Os dispositivos dedicados são especificamente projetados e construídos de acordo com a forma da peça. Possuem vantagens de projeto tais como: possibilitar

operações específicas, maior rigidez em determinadas direções e melhor aproveitamento do espaço de acesso a peça. O custo e o tempo necessário para se produzir este tipo de dispositivo é justificável somente nos casos de grandes lotes de produção (PERREMANS, 1996).

Os dispositivos híbridos resultam de uma fusão entre os tipos modular e dedicado, onde parte do dispositivo é composto por elementos modulares e parte desenvolvido de forma a atender à necessidades específicas da peça, as quais não podem ser satisfeitas utilizando-se elementos modulares .

1.1.2 Importância da automação da fixação

PERREMANS (1996) afirma que as implicações econômicas do projeto e manufatura da fixação são muito importantes. Para pequenos lotes de produção, o custo da fixação pode facilmente ser maior que 30% do custo total de manufatura da produção, e que em média o tempo necessário para o projeto da fixação é de aproximadamente 25% do tempo total de planejamento.

A automação do processo de obtenção de dispositivos de fixação, colabora para a redução do tempo necessário entre a elaboração do projeto do produto e a produção propriamente dita, participando, portanto, do processo de adequação das indústrias às exigências do mercado atual.

As pesquisas de sistemas de fixação podem ser classificadas, do ponto de vista de seu grau de automação, em três categorias básicas: interativo, semi automático e totalmente automático (BUGTAI; YOUNG, 1998) ; (KUMAR et al., 2000).

Nos sistemas de fixação interativos, o computador auxilia o projetista na visualização dos elementos de fixação e da peça a ser manufaturada. No entanto, a escolha e o posicionamento destes elementos é definido pelo projetista do sistema.

Para os sistemas de fixação semi automáticos, não é fundamental que o projetista seja um especialista no assunto, pois as superfícies de localização e sujeição bem como os elementos que compõem o sistema são definidos automaticamente. Porém a disposição dos elementos selecionados, fica a cargo do projetista.

No entanto, nos sistemas de fixação totalmente automáticos, o modelo da peça à ser usinada é obtido diretamente de um sistema CAD. A decisão dos pontos de localização, sujeição, escolha dos elementos de fixação e sua disposição é feita automaticamente. Outros parâmetros, tais como, orientação da peça, estabilidade, forças de corte, interferências e deformações também devem ser considerados.

Segundo PERREMANS (1996), a utilização de elementos modulares representa a melhor opção para o projeto de dispositivos de forma totalmente automática, visto que estes elementos podem ser modelados por sistemas CAD.

1.2 Objetivo

Em face do exposto anteriormente, os objetivos principais deste trabalho são:

- Delinear as principais tarefas que fazem parte do planejamento da fixação, indicando de forma detalhada como estas são realizadas.

- Explorar a interdependência entre as tarefas do planejamento do processo, sem contudo se ater aos detalhes não pertinentes ao planejamento da fixação.
- Inserir o planejamento de dispositivos de fixação de peças prismáticas para usinagem e as demais atividades pertinentes ao planejamento do processo no contexto de sistemas a eventos discretos (SEDs)².
- Adequar e aplicar uma metodologia de modelagem baseada em modelos PFS³ e E-MFG⁴, em que se aplica o conceito de estruturação da modelagem durante o refinamento dos modelos em questão (SANTOS FILHO, 2000).

Para adequar a metodologia ao problema em questão, foi necessário estabelecer uma semântica alternativa para os elementos estruturais do PFS. Esta postura foi adotada porque a metodologia propriamente dita foi elaborada para ser aplicada no processo de síntese de sistemas de controle de sistemas produtivos, sendo necessário, portanto, estabelecer-se uma abstração adequada para todo o contexto. Em vez de projetar-se sistemas de controle em que se estaria modelando a funcionalidade desejada para os sistemas produtivos, o objetivo passa a ser modelar as atividades pertinentes ao processo de síntese de dispositivos de fixação e como as mesmas podem ser realizadas. Neste contexto, o sistema de controle corresponde de fato ao modelo de subordinação entre atividades que culminam na obtenção de

²SED - Sistemas a Eventos Discretos, é um sistema de estados discreto, dirigido por eventos cuja evolução de estados depende inteiramente da ocorrência de eventos discretos e assíncronos no tempo (CASSANDRAS, 1993).

³Production Flow Schema, grafo não marcado derivado de Redes de Petri para a geração de modelos conceituais.

⁴Enhanced Mark Flow Graph, grafo marcado derivado de Redes de Petri para a geração de modelos de controle.

dispositivos de fixação, contribuindo-se desta forma, para a descrição formal deste processo e conseqüentemente viabilizando a sua automação.

1.3 Metodologia de pesquisa

A metodologia de pesquisa adotada neste trabalho, segue a metodologia de desenvolvimento das Redes de Petri, seguida por exemplo por JENSEN (1992) (figura 1.1).

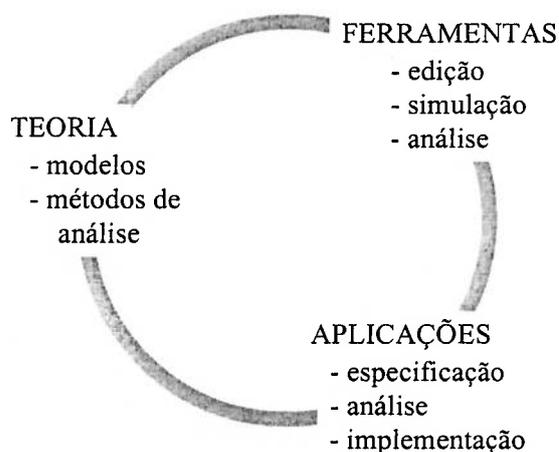


Figura 1.1 Desenvolvimento de metodologia com Redes de Petri.

Neste modelo evidencia-se a forte inter-relação entre teoria, ferramentas e aplicações, estando os três aspectos integrados no processo de desenvolvimento de uma metodologia que contribua sinergeticamente nos processos de desenvolvimento associados a cada um deles. É uma fórmula plenamente bem sucedida, considerando-se os vários trabalhos desenvolvidos a partir de Redes de Petri e das aplicações abordadas utilizando as ferramentas propostas.

CALVEZ (1993) identifica três aspectos básicos para a resolução de um problema: os métodos, as ferramentas e as técnicas (figura 1.2). As técnicas fornecem o suporte direto à implementação, enquanto as ferramentas são utilizadas para as implementar e os métodos permitem evoluir da definição do problema até a sua implementação.

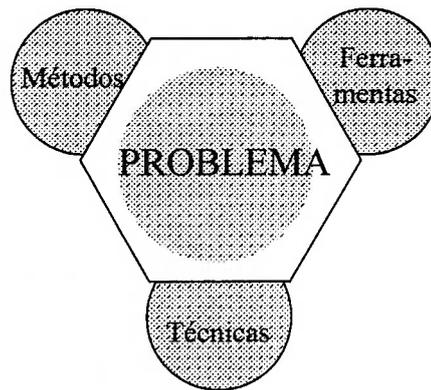


Figura 1.2 Os três aspectos principais na resolução de um problema.

Na presente proposta, os três aspectos identificados por JENSEN (1992) devem evoluir simultaneamente, condicionando-se mutuamente. Os desenvolvimentos nas três áreas identificadas deverão beneficiar-se das sinergias resultantes das atividades em cada uma das outras duas áreas.

A Figura 1.3 sintetiza as principais referências do presente trabalho em termos da trilogia apresentada.



Figura 1.3 Ciclo de desenvolvimento da metodologia proposta.

1.4 Estruturação do texto

Apresenta-se no capítulo 2 as principais tarefas relacionadas ao planejamento do processo de obtenção de peças usinadas. São comentados os principais trabalhos desenvolvidos e relacionados ao tema, bem como suas vantagens e deficiências.

No capítulo 3 aborda-se ferramentas / metodologias empregadas na modelagem de sistemas a eventos discretos, enfatizando-se a metodologia E-MFG / PFS e propõe-se a utilização desta metodologia na modelagem do processo de obtenção de dispositivos de fixação de peças prismáticas para usinagem, estabelecendo um paralelo com a questão de desenvolvimento de sistemas de informação.

É apresentado no capítulo 4, uma proposta de representação do produto baseada no conceito de “features”, onde se utiliza um grupo básico de entidades geométricas relacionadas a um sistema de coordenadas, adequado à representação de cada uma das “features” que compõem o produto. Nesse capítulo, também é proposto uma forma de representação das relações de dependência entre “features” baseada na seqüência de remoção.

No capítulo 5, é apresentado o desenvolvimento do processo de obtenção de dispositivos de fixação utilizando-se a metodologia E-MFG/PFS, utilizando-se diferentes níveis de detalhamento .

No capítulo 6, é apresentado um estudo de caso, onde se emprega os procedimentos propostos neste trabalho, demonstrando assim sua aplicabilidade.

Por fim, no capítulo 7 são apresentadas as observações finais e as principais conclusões obtidas, bem como sugestões para a realização de trabalhos futuros.

CAPÍTULO 2

PESQUISAS RELACIONADAS AO PLANEJAMENTO DO PROCESSO

A integração entre o projeto e a fabricação se dá através do planejamento do processo, que é responsável por especificar a seqüência e os meios que permitam a fabricação de produtos da forma mais econômica possível.

Ao projeto cabe especificar todos os requisitos da peça, sua geometria, rugosidade, material, tratamentos térmicos e/ou superficiais, tolerâncias geométricas e/ou dimensionais, etc. A fabricação cabe executar e supervisionar a execução de uma seqüência de operações que devem levar a matéria prima ao estado de produto acabado (SOUZA, 1998).

O planejamento do processo é constituído de diversas tarefas como pode ser observado na figura 2.1 . Porém, a interdependência e o seqüenciamento destas tarefas ainda não está totalmente consolidado.

Vários trabalhos tem sido elaborados com o intuito de descrever cada uma destas tarefas, resultando muitos deles em ferramentas que contribuem para sua automação. No entanto, pelo fato de não ser considerada a dependência mútua entre estas tarefas, os sistemas assim obtidos ainda apresentam pouca aplicabilidade prática.

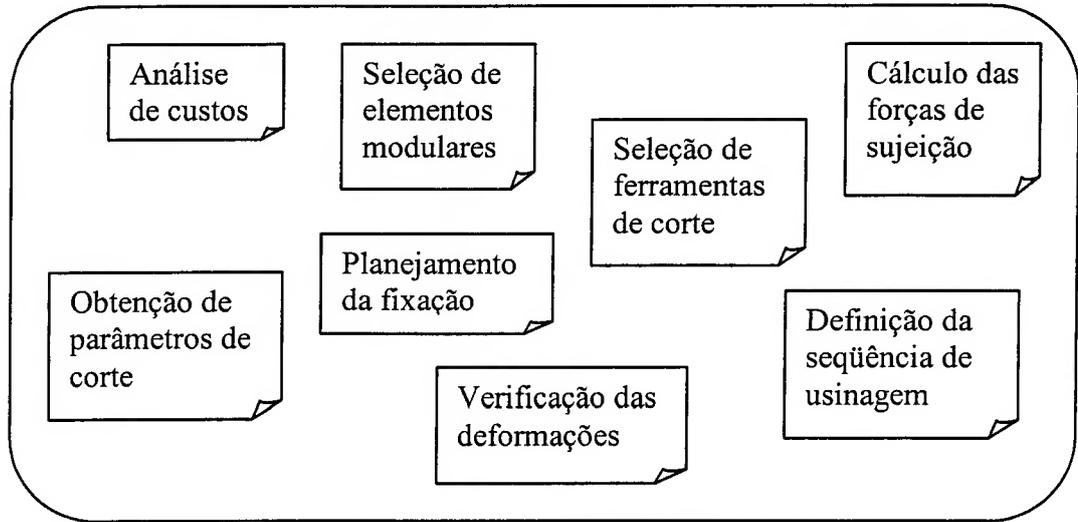


Figura 2.1 Tarefas pertencentes ao planejamento do processo.

Como exemplo de sistemas que atingiram o desenvolvimento necessário para serem utilizados à nível industrial, podemos citar o CAD (Computer Aided Design) utilizado na atividade de projeto e o CAM (Computer Aided Manufacturing) utilizado na área de fabricação (SOUZA, 1998).

2.1 Desenvolvimentos realizados na área de fixação

A execução do projeto da fixação de peças para usinagem é uma questão importante no planejamento do processo por influenciar diretamente na produtividade, acuracidade e qualidade do produto (SHIRINZADEH, 1996); (PERREMANS, 1996); (KRISHNAKUMAR; MELKOTE, 2000); (KALE; PANDE, 2000); (WANG; PELINESCU, 2001).

A maioria dos trabalhos realizados sobre a fixação até meados da década de 80 tinham como centro da questão os componentes dos dispositivos de fixação, a intenção era apresentar uma série de soluções já testadas de tal forma que fique a cargo do projetista de dispositivos a necessária abstração para adaptar as soluções apresentadas às necessidades.

Segundo CHANG (1992) e PERREMANS (1996) existem poucas diretrizes para o planejamento de fixação de peças e não existe uma abordagem sistemática para este planejamento.

PERREMANS (1996) desenvolveu um sistema especialista (IDEFIX) de projeto de fixação de peças prismáticas em centros de usinagem. O sistema descrito possui interface com um aplicativo (Aplicon Bravo CAD) que permite identificar todas as “features” que devem ser usinadas e aquelas que possam ser utilizadas com propósitos de fixação. É também apresentada uma descrição formal dos elementos modulares de fixação.

Na metodologia utilizada, as “features” são agrupadas com base nas suas características construtivas, com o propósito de serem usinadas numa mesma montagem, depois é definido o posicionamento da peça utilizando o método 3-2-1 e o posicionamento da fixação. E por fim é feita a montagem dos elementos modulares do dispositivo.

No trabalho apresentado por SOUZA (1998) realiza-se um estudo a respeito do planejamento da fixação de peças em operações de usinagem, visando sistematizar sua execução.

Esta sistematização explora a inter-relação entre as atividades do planejamento do processo e da fixação. Entretanto, faz uma descrição textual das

regras heurísticas e atividades necessárias à obtenção de dispositivos de fixação, que pela falta de formalismo em sua representação, causa dificuldade / ambigüidade na compreensão das etapas bem como suas inter-relações e conseqüentemente sua implementação.

HUANG et al (1999) apresenta uma metodologia de projeto de fixação com componentes modulares pré definidos, que leva em consideração os tipos, funções e dimensões dos componentes, porém sem estabelecer relação com o processo de usinagem, pontos de contato, acessibilidade ao dispositivo e interferências na usinagem.

KALE; PANDE (2000) realizaram o projeto de um sistema inteligente de identificação da localização e posicionamento de sujeitadores nas faces de peças prismáticas, fez a implementação deste sistema, denominado INTFIX, utilizando programação orientada a objeto em C++ .

KUMAR et al (2000) descreve um sistema de planejamento de fixação modular, desenvolvido usando-se ferramentas CAD (implementado em CAD/CAM 3D Unigraphics). Este sistema determina os pontos de fixação por meio de regras heurísticas e possui um módulo capaz de identificar interferência entre os componentes do dispositivo e a ferramenta de corte.

KRISHNAKUMAR; MELKOTE (2000) apresentaram um sistema de otimização do layout da fixação por meio de Algoritmo Genético, que analisa um conjunto de possíveis configurações. Este sistema é independente da configuração inicial e utiliza como parâmetro de seleção a mínima deformação elástica gerada pelos elementos de sujeição e pelas forças de corte nas superfícies a serem usinadas.

WANG; PELINESCU (2001) desenvolveram um sistema de projeto de fixação de peças tridimensionais, considerando como critério de desempenho algoritmos de acuracidade de localização e de distribuição das forças de contato dos localizadores.

Este sistema identifica as superfícies candidatas às superfícies de localização e sujeição e procura uma configuração ótima por meio de interações algorítmicas baseadas em critérios de desempenho, que depende da configuração inicial escolhida como ponto de partida. Como resultado, pode ser obtida mais de uma configuração cuja definição fica a critério do projetista.

MARIN; FERREIRA (2001) apresentaram um sistema que utiliza programação linear para otimizar o layout dos elementos de sujeição de dispositivos de fixação. Este sistema foi desenvolvido para peças de superfícies planas ou cilíndricas e necessita que sejam fornecidos como dados de entrada, o layout dos pinos de localização e o conjunto das superfícies que possam ser utilizadas na sujeição da peça.

O critério de otimização é baseado na determinação do esquema de sujeição que minimize a magnitude das forças de sujeição, necessárias para a imobilização da peça. A técnica desenvolvida foi inicialmente empregada sem considerar as forças de atrito existentes entre peça e os sistemas de localização e sujeição. Posteriormente as forças de atrito foram introduzidas e também foi discutida a possibilidade de se empregar a álgebra linear para determinar linhas de sujeição cuja força seja constante, ao longo das quais os sujeitadores possam ser posicionados sem necessidade de alteração da força de sujeição.

2.2 Trabalhos realizados na área de seleção de ferramentas de corte

A seleção de ferramentas de corte é uma das mais importantes tarefas do planejamento de processo por afetar a seleção dos parâmetros de usinagem, seleção da fixação, taxa de produção, custo do produto e acuracidade (LIN; WEI, 1997); (FERNANDES; RAJA, 2000).

A produção de um componente pode envolver várias operações de usinagem utilizando para isto uma grande variedade de ferramentas de corte. O processo de seleção de ferramentas consiste em selecionar a ferramenta capaz de usinar um componente, ou uma determinada porção deste, com o menor custo possível dentro dos padrões de qualidade e funcionalidade do produto (FERNANDES; RAJA, 2000).

A área de usinagem envolve tópicos específicos como otimização, considerações de vida e desgaste de ferramentas, técnicas de seleção de ferramentas para torneamento e fresagem, planejamento de processo e gerenciamento de ferramentas (RIBEIRO; COPPINI, 1999).

A seleção de ferramentas de corte, assim como o projeto de dispositivos de fixação, tem sido basicamente realizada a partir da experiência profissional, ficando assim sujeita a erros devido as limitações de formalismo para obtenção de parâmetros tais como: o tipo da ferramenta, dimensões e demais parâmetros de usinagem.

Muitos trabalhos de notória importância tem sido desenvolvidos com o objetivo de automatizar esta tarefa, colaborando desta forma, para melhorar a eficiência do processo.

O trabalho apresentado por KEATING et al. (1995) programado em Auto LISP e Turbo Pascal, é dividido em cinco módulos com funções distintas. Os dados do componente à ser trabalhado são inseridos por meio de arquivo CAD, sendo que outras informações como operações, máquinas, material etc, são inseridas por um operador do sistema.

Os módulos citados se encarregam de fornecer, para cada superfície à ser usinada, sugestões de ferramentas e seus respectivos parâmetros de corte, de acordo com critérios de produção preestabelecidos tais como: máxima vida da ferramenta, mínimo custo e mínimo tempo de manufatura. Também é capaz de avaliar as forças necessárias para imobilização da peça, por meio das forças de corte impostas por cada ferramenta e fornecer dados para programação de controle numérico.

LIN; WEI (1997) desenvolveram uma ferramenta computacional baseada em modelos gerados por Pro/ ENGINEER CAD/CAM para peças de perfis irregulares, que é capaz de selecionar ferramentas de corte para desbaste e acabamento final bem como a velocidade de corte, passo e avanço para cada uma das ferramentas selecionadas. Os parâmetros para seleção se baseiam na remoção do volume máximo de material e o raio mínimo da ferramenta que atenda às exigências do perfil do produto. Neste sistema pode-se identificar a preocupação com a minimização dos custos de produção, pois o equacionamento apresenta a somatória dos volumes removidas em cada passagem da ferramenta, sendo portanto minimizado o número de passagens.

JHA (1997), elaborou um sistema automático de seleção de ferramentas de corte baseado em teoria de grupo e programação linear. A base de dados com informações das superfícies a serem usinados e das ferramentas de corte disponíveis,

são inseridas pelo usuário e organizadas na forma de matrizes. A interseção destas matrizes gera um conjunto restrito que tem sua função minimizada por programação linear. O sistema gera, como dados de saída, o tipo e o número das ferramentas de corte necessárias para a usinagem especificada.

O trabalho desenvolvido por RIBEIRO; COPPINI (1999) apresenta o sistema CATA (Computer Aided Technical Assistance) que corresponde a uma base de dados de usinagem, ao qual foi adicionado um algoritmo que possibilite a determinação de ferramentas e parâmetros de corte. O sistema permite otimizar os resultados obtidos baseando-se em condições de máxima produção, encontrando assim, segundo o autor, condições apropriadas para aplicação industrial. Porém não contempla condições tais como: custo mínimo por peça e vida útil da ferramenta.

A metodologia apresentada por FERNANDES; RAJA (2000) denominada Sistema Incorporado de Seleção de Ferramentas, foi elaborada utilizando-se processo analítico, divididos em cinco passos seqüenciais que são: seleção de ferramentas alternativas, compatibilidade com a máquina ferramenta, eliminação lógica, determinação dos parâmetros da ferramenta e pesquisa de banco de dados. Cada passo descreve uma seqüência de regras, refinamentos e compatibilizações entre atributos das superfícies a serem usinadas e as ferramentas existentes no banco de dados. Como resultado, o sistema fornece um conjunto de ferramentas que podem ser utilizadas no processamento de cada superfície, porém a seleção final fica a cargo do operador deste sistema.

O trabalho desenvolvido por CARPENTER; MAROPOULOS (2000) apresenta uma metodologia para seleção de ferramentas de corte, que de forma análoga ao trabalho apresentado por KEATING et al. (1995), é também baseado em

critérios de produção preestabelecidos. Os autores desenvolveram um software escrito em Microsoft FoxPro denominado OPTIMUM, que por meio de modelos matemáticos e estatísticos faz a seleção de ferramentas e demais dados de corte para operações de fresagem. O sistema requer como dados de entrada as características do material a ser usinado, acabamento superficial, dimensões e o tipo de operação requerida, como: chanfros, furos, canais, perfis, etc. Segundo este autor, os critérios de desempenho das indústrias cuja produção é baseada em processos de usinagem não pode ser sempre o custo mínimo de produção, sendo portanto necessário considerar, em dadas condições, a vida da ferramenta e o tempo mínimo para manufatura.

AREZOO et al. (2000) desenvolveram e implementaram em Prolog, um sistema denominado EXCATS capaz de selecionar e otimizar ferramentas e parâmetros de corte para operações de torneamento. Para tal, fez uso de critérios de otimização utilizados na indústria de manufatura, tais como: custo mínimo por peça e taxa máxima de produção. O sistema possui uma interface amigável com o usuário, sendo possível modificar e aumentar os critérios de seleção e otimização de acordo com a necessidade do produto, o que agrega flexibilidade ao sistema diferenciando-o dos demais existentes. Os dados de entrada são as informações referentes às características das ferramentas disponíveis e da peça a ser usinada. Há necessidade também, de informar ao sistema, a seqüência de usinagem.

OLIVEIRA; TSUZUKI (2001) desenvolveram um método de seleção de ferramentas de corte, utilizando programação dinâmica, para usinagem de cavidades, em máquinas CNC, baseado em trajetórias paralelas a uma direção (zigzague). O método proposto determina o conjunto de ferramentas, de um grupo pré estabelecido,

capazes de minimizar o tempo de usinagem, porém sem considerar os demais parâmetros que influenciam no custo da peça.

2.3 Deformações e dispositivos de fixação

Vários trabalhos tem sido publicados onde os autores, conscientes das necessidades de se acrescentar qualidade ao produto, procuram desenvolver metodologias que permitam imobilizar peças durante sua usinagem, de forma que sejam minimizadas suas deformações. As pesquisas se concentram, basicamente, em dois tópicos:

- determinação das forças mínimas de sujeição,
- determinação dos esquemas ótimos de localização e sujeição.

A seguir apresentamos as características e critérios de alguns trabalhos desenvolvidos com esta finalidade.

O trabalho realizado por JENG et al. (1995) teve por objetivo determinar as forças de sujeição mínimas que garantam a imobilidade de peças durante processos de usinagem mecânica. Os autores apresentam um método baseado na relação existente entre forças de corte e momento de sujeição, realizam estudos de caso e concluem que o método proposto apresenta vantagens comparado à outros métodos, podendo este ser utilizado durante o projeto de sistemas de fixação para estimar as forças de sujeição para diferentes configurações do sistema.

O trabalho desenvolvido por LI; MELKOTE (1999), apresenta um modelo que utiliza o princípio da energia complementar total mínima para determinação das forças de contato em sistemas de fixação devido as forças de sujeição, onde a peça e

o sistema de fixação são considerados como corpos elásticos nas vizinhanças das regiões de contato. O sistema é capaz de prever as forças normais e tangenciais e também a deformação destas regiões em função das cargas aplicadas (sujeição e corte). A comparação entre valores experimentais e teóricos, para diferentes cargas, apresentam boa proximidade, permitindo utilizar o modelo proposto na análise de desempenho de fixações em termos das forças e deformações das regiões de contato.

WANG et al. (1999) apresentaram um sistema de fixação inteligente, onde fazendo uso de sensores e sistemas de controle foi capaz de determinar, em posições predeterminadas da ferramenta de corte e em tempo real, as forças mínimas de sujeição que devem ser aplicadas a peça. O objetivo é garantir a imobilidade da peça com o mínimo de distorções provocadas pelas forças de corte e sujeição. O modelo foi aplicado na usinagem de peças com cavidades de paredes finas sendo os resultados comparados a ensaios experimentais. Também foi realizada a análise dimensional entre um sistema fixo de forças de sujeição e o sistema inteligente proposto, o que demonstrou a eficiência do modelo. Por fim, os autores recomendam a aplicação deste em sistemas flexíveis de manufatura e em particular para indústrias de precisão.

HUANG; HOSHI (2000), desenvolveram um método para reduzir os erros de planicidade de placas obtidas por usinagem mecânica. O método proposto utiliza modelos algébricos e experimentais para determinar a deformação provocada pelo aquecimento da peça durante sua usinagem e a deformação elástica imposta pelo esquema de sujeição e procura compensar estas deformações por meio da aplicação de forças de sujeição apropriadas. Apesar do método, restrito a peças planas, não compensar completamente as deformações ocasionadas pelas duas fontes de erro de

planicidade (visto que a fonte de deformação térmica é dependente da trajetória da ferramenta), este foi capaz de reduzir de forma significativa seus efeitos, permitindo aos autores concluir que seria possível obter melhores resultados ajustando-se o esquema de sujeição à trajetória da ferramenta de corte.

DE METER et al. (2001) desenvolveram um modelo denominado LCPL (linear clamp pre load) capaz de determinar a carga mínima de sujeição de peças em dispositivos de fixação para usinagem. O modelo apresentado por De Meter calcula a carga mínima de sujeição necessária para evitar o escorregamento da peça durante o processo de usinagem, considerando as deformações do sistema de fixação decorrentes das forças impostas pelo sistema de sujeição e do processo de usinagem. O autor também descreve um estudo experimental, utilizado para avaliar a acuracidade do modelo proposto com relação a aplicação de uma carga crescente ao sistema de sujeição. Como resultado, afirma que a carga mínima de sujeição obtida com o modelo proposto excede em aproximadamente 7% o valor experimental e que o valor calculado é sensível à deformação dos elementos de fixação e também ao coeficiente de atrito estático.

FANG et al. (2001) desenvolveram um modelo capaz de avaliar a capacidade de amortecimento de vibrações de sistemas de fixação de peças. Utilizou para tal, o método de elementos finitos não lineares e desenvolveu uma série de experimentos utilizando dispositivos de fixação modulares, submetendo-os a testes de martelo de impacto. Comparando os resultados experimentais e teóricos, concluíram alguns aspectos importantes:

- o modelo proposto se iguala ao experimental quando a força de sujeição é relativamente pequena.

- empregando-se um sujeitador secundário o sistema de fixação apresenta aumento na razão de amortecimento.
- a seqüência de sujeição afeta a distribuição da pressão de contato nos elementos de localização o que influencia a razão de amortecimento.
- o aumento da força de sujeição ou da rigidez do sistema provoca aumento do amortecimento, sendo que a relação amortecimento / rigidez possui grande importância para o projeto da fixação.

2.4 Deficiências nas abordagens sobre planejamento do processo

Analisando-se as pesquisas realizadas na área de planejamento do processo é possível identificar algumas deficiências nestas abordagens.

De forma implícita ou explícita, na maioria das pesquisas não são consideradas as macro interações entre o planejamento da fixação, seleção de ferramentas de corte e seqüência de remoção. Negligencia-se com isto a forte interação que existe entre estas tarefas. Com isto, o foco do trabalho fica direcionado para o estudo de aspectos individuais do planejamento do processo como, por exemplo, obtenção dos pontos de apoio e sujeição da peça; seleção de componentes; otimização de layout da fixação, obtenção e otimização de ferramentas e parâmetros de corte, etc , que são importantes, mas que deveriam guardar algum tipo de relação interativa entre si.

Além disto, a falta de um modelo de representação formal, que leve em conta os macro e micro aspectos de interação de cada uma das atividades pertinentes ao planejamento do processo, dificulta sua interpretação e implementação, resultando

em modelos pouco generalizáveis o que justifica sua pouca utilização como ferramentas de apoio no cotidiano da indústria.

Sendo assim, identifica-se uma necessidade de inserir-se o contexto do planejamento da fixação de peças e sua relação com as demais tarefas do planejamento do processo, na linha de pesquisa de sistemas a eventos discretos (SEDs). Para isso, necessita-se apresentar modelos baseados em técnicas derivadas das Redes de Petri, que descrevam o processo de obtenção de dispositivos de usinagem de peças prismáticas, integrado às atividades relacionadas ao planejamento do processo.

Apresenta-se, no capítulo seguinte, os sistemas a evento discreto em questão, com as devidas definições e características, bem como a metodologia E-MFG/PFS empregada no desenvolvimento deste trabalho.

Capítulo 3

CLASSIFICAÇÃO E MODELAGEM DE SISTEMAS

Segundo CASSANDRAS (1993), sistema é uma interação de componentes associados com a intenção de realizar uma determinada função. Sistema é um conceito primitivo e a palavra sistema é originária do grego que significa “combinar”.

Os sistemas desenvolvidos e mantidos pelo homem, são classificados como “man made systems” , sendo a razão de sua existência a satisfação de uma necessidade (ITO , 1991).

O conceito de sistema aplicado neste trabalho consiste num conjunto de elementos dinamicamente relacionados entre si, que operam sobre entradas e fornecem saídas processadas, com objetivo de se obter dispositivos de fixação.

3.1 Estrutura do sistema

Denomina-se estrutura do sistema à identificação dos componentes deste sistema e das suas inter-relações. Na estrutura de um sistema, podemos observar mais de um nível de detalhe, se pelo menos um componente do sistema também puder ser compreendido como sistema (subsistema). Isto significa que a estrutura vai sendo declarada na medida em que a análise permite identificar componentes dos

componentes, em vários níveis, numa ordem que vai do geral para o particular (NOGUEIRA, 2002).

Quando estudamos a estrutura do sistema, dos aspectos gerais para os particulares, dizemos tratar-se de estudo do tipo top-down, ou seja, que se inicia desde o primeiro nível de abstração.

No sentido contrário, quando examinamos questões particulares passando para as gerais, dizemos que se trata de estudo no modalidade bottom-up, o que envolve a síntese dos detalhes, buscando-se compreender ou redefinir o sistema como um todo.

3.2 Sistemas de informação

Partindo-se do conceito de sistema, podemos caracterizar o Sistema de Informação como sendo todo e qualquer sistema que tem informações como dados de entrada visando gerar informações como dados de saída. A expectativa de se obter tais informações, para satisfazer determinadas necessidades, corresponde ao objetivo geral dos Sistemas de Informação.

As informações de entrada no sistema de informação influenciam diretamente, após seu processamento, as informações de saída. No entanto, as informações de entrada, em razão de sua natureza lógica, não sofrem alterações o que permite sua utilização em outros sistemas de informação (NOGUEIRA, 2002).

A passagem de uma informação de saída para a entrada em uma outra etapa de processamento, é uma etapa de comunicação. Uma etapa de comunicação integra

etapas de processamento num fluxo de informações de um subsistema ou de parte dele.

Pode-se definir o que venha a ser um fluxo de informações como um conjunto integrado de etapas de processamento, através de etapas de comunicação.

Decisões e ações compõem uma etapa de processamento, alimentada por informações de entrada, as quais são trazidas numa etapa de comunicação, para integrar as etapas de processamento, como ilustra a figura 3.1 a seguir.

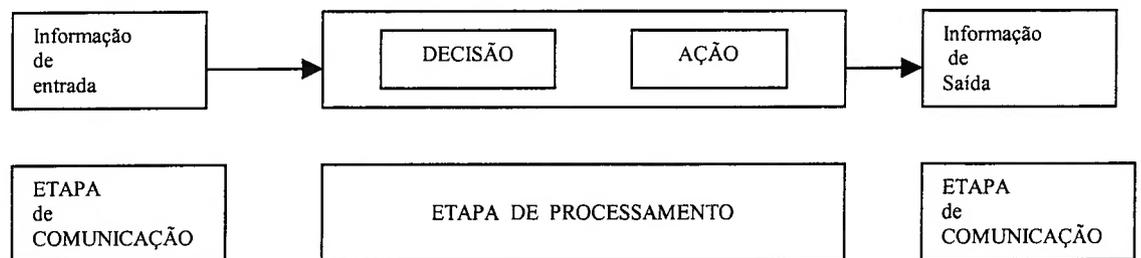


Figura 3.1 Fluxo de informações.

3.3 Classificação dos Sistemas

Para descrever os diferentes aspectos que caracterizam os sistemas, em CASSANDRAS (1993) é apresentada a seguinte classificação:

- **Sistemas Instantâneos e Dinâmicos.** Nos sistemas instantâneos ou estáticos, os valores das saídas são normalmente independentes dos valores anteriores das correspondentes entradas. Nos sistemas dinâmicos, os valores das saídas dependem dos valores das entradas e dos valores anteriores das entradas em um determinado instante;

- Sistemas Variantes no Tempo e Invariantes no Tempo. O comportamento de um sistema Invariante no Tempo não varia ao longo do tempo, isto é, a forma como é gerada a resposta será sempre a mesma para a mesma entrada. Se não houver esta dependência será um sistema Variante no Tempo;
- Sistemas Lineares e Não-Lineares. Um sistema linear satisfaz a condição $g(a_1u_1+a_2u_2)=a_1g(u_1)+a_2g(u_2)$, onde u_1 e u_2 são dois vetores de entrada, a_1 e a_2 são números reais e $g(.)$ é a função de saída resultante, isto é, o sinal de saída mediante um valor da entrada do sistema. Caso esta condição seja falsa, o sistema será não-linear. Na realidade, todos os sistemas são não-lineares, contudo, nos casos em que a faixa de variação dos sinais for suficientemente pequena, pode-se considerar esse sistema como sendo linear por aproximação;
- Sistemas de Estado Contínuo e Estado Discreto. Em sistemas de estado contínuo, as variáveis de estado podem assumir valores reais. Em sistema de estado discreto as variáveis pertencem ao domínio dos inteiros não negativos;
- Sistemas Dirigidos pelo Tempo e Dirigido por Eventos. Em sistemas dirigidos pelo tempo os estados do sistema mudam continuamente ao longo do tempo. Em sistemas dirigido por eventos, somente a ocorrência assíncrona de eventos discretos causam uma mudança de estado instantaneamente. O estado do sistema entre eventos consecutivos permanece inalterado;
- Sistemas Estocásticos e Determinísticos. Um sistema é estocástico quando a saída é uma variável aleatória, isto é, o comportamento do sistema é baseado em estatísticas. Se não houver uma saída aleatória, o sistema será determinístico;

- Sistemas de Tempo Discreto e Tempo Contínuo. Num sistema de tempo contínuo todas as variáveis de entrada, variáveis de saída e as variáveis de estados são definidas para todos os possíveis valores do tempo. No sistema de tempo discreto, uma ou mais dessas variáveis são definitas em pontos discretos no tempo, isto é, amostragem de variáveis no tempo.

A figura 3.2 apresenta, de forma esquemática, a classificação dos sistemas conforme CASSANDRAS (1993).

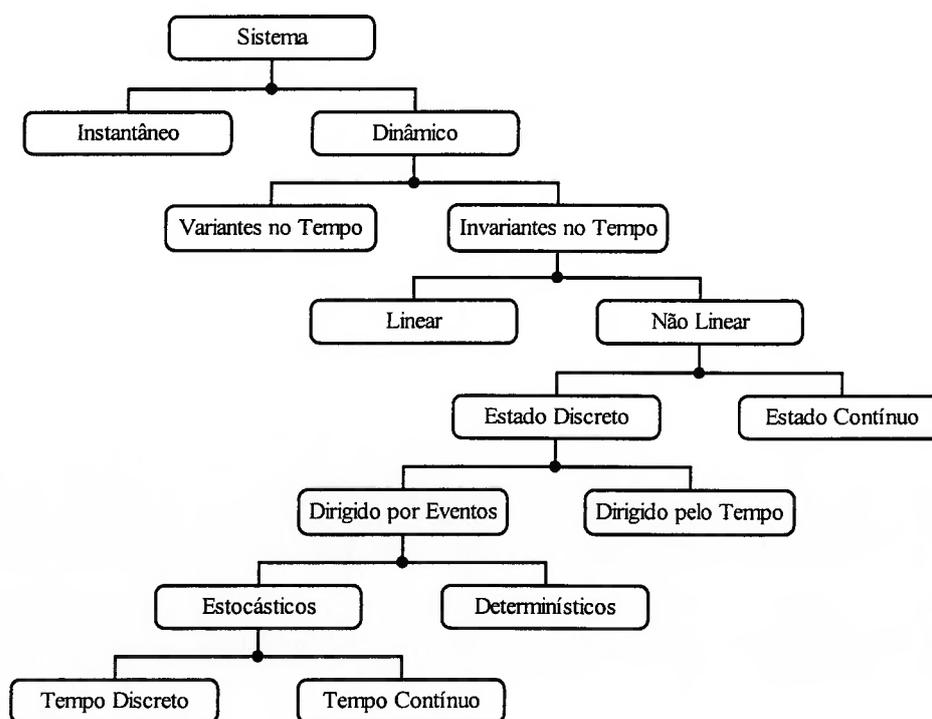


Figura 3.2 Classificação dos sistemas.

3.4 Modelo

Modelo é a representação de sistemas originais. No sentido literal da palavra, modelo é a representação de alguma coisa. Pode também ser definido, como a representação simplificada de um sistema.

Modelo, então, vem a ser uma representação simplificada de alguma parte da realidade, sendo a natureza do problema aquela que vai determinar que tipo de modelo será mais apropriado.

Assim, problemas que desobedecem a soluções diretas por causa do tamanho, complexidade ou estrutura, são freqüentemente avaliados através de modelos.

3.5 Sistemas a Eventos Discretos

Segundo CASSANDRAS (1993) um SED (Sistemas a Eventos Discretos) é um sistema de estados discreto, dirigido por eventos cuja evolução de estados depende inteiramente da ocorrência de eventos discretos e assíncronos no tempo.

O estado de um sistema em um instante de tempo t descreve o seu comportamento naquele momento de alguma forma mensurável (CASSANDRAS, 1993).

O conceito de evento é intuitivo e pode ser identificado como uma ação específica (CASSANDRAS, 1993). O ato de se apertar um botão pode ser considerado um exemplo genérico de evento, onde ocorre transição de estado discreto do sistema para outro estado. Formalmente, podemos definir evento como uma ação que provoca uma transição de estado em tempo finito.

Em um SED, a transição global de estado ocorre de forma descontínua, ou seja, é um sistema dirigido por eventos e não pelo tempo, o que de modo geral, não permite que seu comportamento dinâmico seja modelado por leis físicas como nos sistemas de variáveis contínuas (SVC).

Sistemas, cujas características possibilitem que sejam enquadrados na definição de SED, podem ser estudados por meio de ferramentas baseadas em RdP (Redes de Petri) (CARDOSO; VALETTE, 1997). Basicamente existem modelos de SEDs fundamentados em cadeias de Markov, Redes de Filas, modelos algébricos, autômatos finitos e Redes de Petri. Em MIYAGI et al. (1989) e CAO; HO (1990) é realizada uma comparação destes vários modelos destacando-se a aplicabilidade de cada um deles.

3.6 Visão sistêmica do planejamento de dispositivo de fixação

O processo de planejamento de dispositivos de fixação é composto por um conjunto de atividades, que uma vez desenvolvidas de forma seqüencial, permitem obter a especificação de dispositivos de fixação. Este conjunto de elementos, ora denominados atividades, que são dinamicamente relacionados entre si, caracterizam o processo de planejamento de dispositivos de fixação como sendo um Sistema.

A especificação de dispositivos de fixação consiste em um grupo de informações processadas nas diferentes etapas do sistema, cujas informações são dependentes das inseridas inicialmente e seu conteúdo possibilita a montagem de dispositivos utilizando-se para tal componentes mecânicos predefinidos.

Uma vez que o processo de planejamento de dispositivos de fixação pode ser considerado como um sistema, e como neste sistema são inseridas informações na entrada visando-se obter informações na saída, este se caracteriza como Sistema de Informação.

As informações processadas nas etapas do sistema de planejamento de dispositivos de fixação, podem ser utilizadas de imediato na etapa seguinte ou armazenadas em um repositório de dados juntamente com outras informações pré existentes. Sendo que a cada nova etapa este repositório pode ser requisitado. Isto estabelece o fluxo de informações do sistema, ou seja, um conjunto integrado de etapas de processamento através de etapas de comunicação.

O processamento das informações nas diferentes etapas do sistema de planejamento de dispositivos de fixação, podem ser intuitivamente relacionadas a ocorrência de eventos o que permite a transição de um determinado estado discreto do sistema para outro, sendo esta transição independente do tempo.

Sendo assim, o sistema de planejamento de dispositivos de fixação pode ser definido como um Sistema de Informações Dirigido por Eventos (SIDE).

De acordo com a classificação apresentada e esquematizada na figura 3.2, o sistema de planejamento de dispositivos de fixação pode ser caracterizados genericamente como sistema dinâmico, invariante no tempo, não linear, de estado discreto e dirigido por eventos. Estes aspectos evidenciam o fato desse sistema poder ser classificado como Sistemas a Eventos Discretos (SEDs), o que nos permite estudá-lo utilizando ferramentas baseadas em RdP (Redes de Petri).

Neste trabalho é utilizada a metodologia E-MFG/PFS , derivadas das Redes de Petri, que possibilita uma abordagem top-down, onde os detalhes do processo de

planejamento de dispositivos de fixação são inseridos progressivamente a cada nível de refinamento. Esta técnica também proporciona vantagens similares ao do projeto estruturado de software, o que facilita a compreensão, manutenção, implementação e execução.

3.7 Abordagem antropocêntrica

De uma forma genérica, as atividades ou etapas que conduzem a especificação de dispositivos de fixação para usinagem, são definidas por um conjunto de regras estabelecidas por profissionais da área de projetos mecânicos.

Uma vez que um dos objetivos deste trabalho é colaborar para a automação do sistema de planejamento de dispositivos de fixação, e sendo parcialmente conhecida sua complexidade e estrutura, fica clara a necessidade de se desenvolver um modelo deste sistema, que contribua com o objetivo proposto.

De acordo com a definição de modelo e com o intuito de utilizar, de forma racional, o potencial humano dos profissionais da área de projetos mecânicos, preconiza-se aplicar o conceito de sistemas antropocêntricos no desenvolvimento deste trabalho.

Segundo uma das várias definições de sistemas antropocêntricos apresentadas por KOVÁCS e MONIZ (1995), estes sistemas pretendem valorizar a integração do elemento humano como especialista capaz de participar dos processos de tomada de decisão.

Aplicar o conceito de sistemas antropocêntricos ao sistema de planejamento de dispositivos de fixação, proporciona um conjunto de vantagens. A saber:

- Torna possível aplicar o desenvolvimento proposto a uma maior variedade de peças. Sendo possível que o homem tome decisões ou adote simplificações não previstas no modelo.
- Reduz o número de regras que conduzem a especificação de dispositivos de fixação, o que facilita a compreensão deste sistema.
- Simplifica a implementação e manutenção do sistema.

Baseado nestes termos, a abordagem antropocêntrica mostra-se como uma alternativa consistente no sentido de desenvolver modelos mais efetivos para o sistema de planejamento de dispositivos de fixação.

3.8 Metodologia E-MFG / PFS

A metodologia E-MFG / PFS proposta por SANTOS FILHO (1993) possui o mesmo objetivo da metodologia PFS / MFG (anexo A) proposta por MIYAGI (1996), o refinamento gradativo dos elementos do PFS por elementos E-MFG.

Sendo assim, o processo de descrição dos elementos atividade e dos elementos distribuidor do grafo PFS em elementos do grafo E-MFG, obedece os seguintes princípios:

- Um elemento distribuidor representa uma atividade que apenas armazena itens sem transformá-los;
- Um elemento atividade representa uma entidade que transforma os itens sem armazená-los;

- O conteúdo de um elemento atividade de um determinado nível de abstração pode ser representado por várias sub-atividades interligadas por elementos distribuidores em um nível mais baixo.

No entanto, a metodologia E-MFG / PFS possui um conjunto de procedimentos que permitem a representação hierárquica das estratégias de controle relacionadas às informações contidas nos atributos das marcas.

Este conjunto de procedimentos é dividido em cinco etapas:

- 1- Representar o sistema produtivo a ser modelado por um modelo PFS conceitual.
- 2- Substituir progressivamente os elementos atividade e os elementos distribuidor por elementos E-MFG.
- 3- Representar a alocação de recursos a partir de elementos distribuidor que posteriormente devem ser substituídos por elementos E-MFG.
- 4- Refinar sucessivamente as atividades, em correspondência com os vários níveis hierárquicos existentes.
- 5- Representar as condições de controle adicionais e considerar um modelo conceitual do tipo <Campo atividade , Campo distribuidor , Campo código> para a estrutura do vetor dos atributos das marcas individuais, aplicando-se uma abordagem hierárquica, condizente com uma especificação adequada dos processos de filtragem seletiva e alterações condicionadas destes atributos.

Aplicando-se esta metodologia, é possível obter um modelo controlado, compatível com o nível de controle que se deseja realizar.

Capítulo 4

REPRESENTAÇÃO DO PRODUTO

Na execução tradicional das tarefas pertencentes ao planejamento do processo, os diversos profissionais envolvidos fazem a identificação das superfícies a serem usinadas e levando em consideração suas características de forma geral, determinam os processos a que se deve submeter a matéria prima até obter-se o produto acabado. A identificação das superfícies assim como suas características é de vital importância, pois estas informações fazem parte do conjunto de dados processados por profissionais envolvidos com o planejamento do processo ou utilizados em sistemas assistidos por computador (HAN; ROSEN , 1998).

Assim, os itens a seguir são dedicados a identificação e descrição do conjunto de características do produto e suas interações mutuas, visando-se formalizar esta descrição de modo que estas possam ser utilizadas, juntamente com algoritmos e regras heurísticas, no processo de obtenção de dispositivos de usinagem e demais tarefas do planejamento do processo.

4.1 Sistemas de coordenadas

A importância da definição de sistemas de coordenadas, esta relacionado ao fato de diversas informações e processos decisórios estarem relacionados à estes

sistemas, pois as possibilidades de orientação e posicionamento do produto são dependentes da geometria do próprio produto.

Na estrutura idealizada, utiliza-se dois sistemas de coordenadas.

Estes sistemas são formados pelos vetores x , y e z de forma que sejam, dois a dois ortogonais, formando desta forma um sistema de base ortonormal (WATANABE; MACHADO, 1996).

O primeiro sistema é associado a peça, denominado sistema de referência da peça. Tem por objetivo distinguir para cada “feature”¹ suas direções e localização. A representação das “features” devem ser feitas preferencialmente no quadrante positivo deste sistema de coordenadas de modo à evitar-se complicações desnecessárias.

A orientação inicial do modelo é livre, pois a heurística apresentada no capítulo 5 proporciona a devida rotação deste sistema em relação ao segundo sistema de referência.

A figura 4.1 apresenta um exemplo de modelo orientado de acordo com o sistema de referência da peça.

¹ Feature pode ser entendido como um elemento ou um conjunto de elementos geométricos que apresenta características específicas que norteiam um determinado objetivo final.

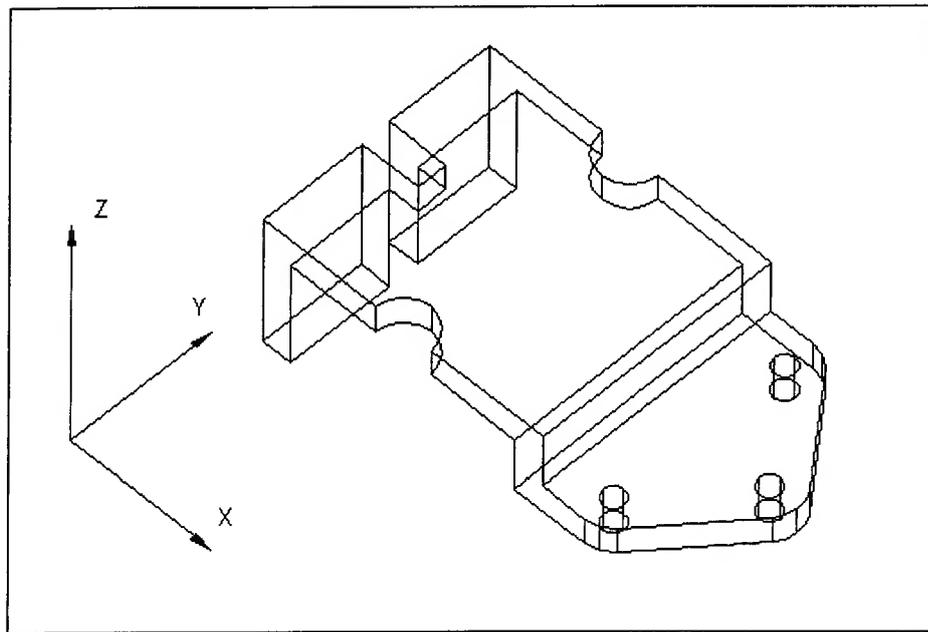


Figura 4.1 Exemplo de atribuição do sistema de referência da peça.

O segundo sistema é denominado sistema de referência dispositivo / máquina e tem os seguintes objetivos:

- a) permitir que se possa descrever o leiaute dos elementos que compõem o dispositivo de fixação com base em coordenadas oriundas de uma origem conhecida;
- b) permitir que de forma padronizada se possa estabelecer as direções dos principais movimentos de uma máquina ferramenta, que no presente estudo se refere a centros de usinagem de três eixos.

Estas direções são:

- o plano da mesa de trabalho da máquina definirá o plano XY, sendo que o eixo X terá a direção do movimento longitudinal da mesa (movimento de maior curso) e seu sentido positivo definido como na figura 4.2, já o eixo Y é perpendicular ao X e seu sentido positivo deverá apontar para a coluna da máquina.

- o eixo Z será perpendicular ao plano XY e seu sentido positivo deverá apontar para cima;

A origem deste sistema de coordenadas, uma vez que estas informações são de orientação e não de posição, pode localizar-se em qualquer lugar, desde que esteja dentro dos limites dimensionais do volume de trabalho, formado pelos deslocamentos da mesa e do porta ferramenta e das bases padrão utilizadas na fixação dos elementos do dispositivo de fixação.

A figura 4.2 apresenta a orientação deste sistema de coordenadas para o caso de uma fresadora universal o qual é igualmente aplicável à centros de usinagem de três eixos.

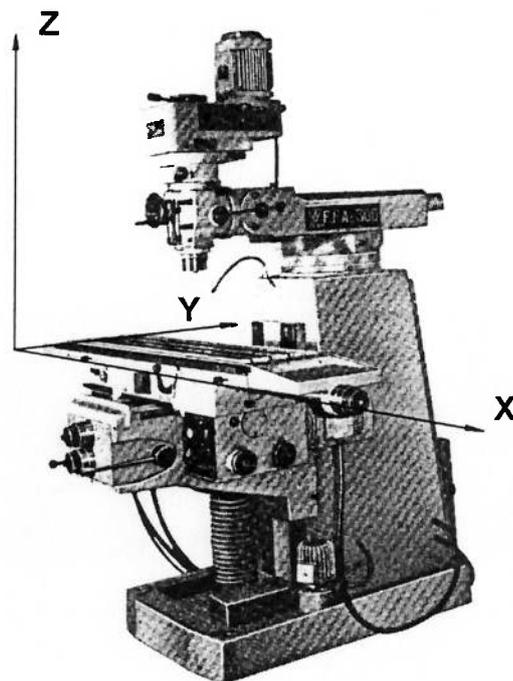


Figura 4.2 Direção e sentido dos eixos do sistema de referência dispositivo / máquina aplicados a uma fresadora universal .

4.2 Representação por “features”

Vários trabalhos tem sido desenvolvidos com o objetivo de automatizar tarefas pertinentes ao planejamento do processo onde foram utilizados modelos baseados em “features” (feature-based model) (LEE; KIM, 1998) os quais em alguns casos, fazem uso de programas comerciais para a representação do produto, como por exemplo as ferramentas CAD.

O conceito de “feature”, apesar das várias tentativas de definição, pode ser descrito como um conjunto de elementos geométricos com características especiais pelas quais existe interesse tanto a nível de projeto quanto a nível de fabricação. Em modelos baseados em “features” é possível associar as informações geométricas e topológicas já presentes nos modelos sólidos e também informações complementares específicas para cada tipo de “feature” como por exemplo: tolerâncias dimensionais, macro e microgeométrica, processo de obtenção etc (JOO et al., 1997); (SOUZA, 1998).

Descrever o produto em termos de “features” é muito útil para a automação do planejamento da usinagem (SAKURAI, 1990).

Segundo HAN; ROSEN (1998) e SANDIFORD; HINDUJA (2001) o planejamento do processo auxiliado por computador CAPP (Computer Aided Process Planning) tem funcionado como um agente de comunicação entre CAD e CAM . Sendo que, partindo-se de um conjunto de informações obtidas por meio de uma ferramenta CAD, o objetivo do CAPP é gerar um conjunto seqüencial de instruções à serem utilizadas na manufatura da peça e, para que isto ocorra, a peça deve ser descrita por meio de “features”.

A área de Projeto e Manufatura Auxiliados por Computador (CAD/CAM) aplicada à Engenharia Mecânica apresentou um grande avanço na última década. Identificou-se um estado de transição do tradicional projeto baseado na geometria para um projeto baseado em “features” denominado “Design by features” (RODRÍGUEZ; TSUZUKI, 2001).

Várias propostas para se criar modelos de “features” e sistemas de reconhecimento, podem ser encontrados em RODRÍGUEZ; TSUZUKI (2001). Entre eles destaca-se o método de decomposição por volumes “Volume Decomposition” (WOO, 1984), de especial interesse para o desenvolvimento deste trabalho.

No método de decomposição por volumes, opera-se no modelo do material a ser removido para que a peça seja criada a partir de uma peça bruta. Sendo que o volume a ser removido pode ser dividido em sub-volumes que correspondem às operações simples de usinagem.

Este método é classificado como uma técnica de reconhecimento de “features”, por diferenciar os diversos tipos de “features” que são associadas às operações de usinagem.

Baseando-se no conceito de que uma “feature” pode ser associada a um conjunto de operação de usinagem e como por usinagem compreende-se que algum material deverá ser removido, podemos estabelecer que a usinagem de peças é equivalente a remoção seqüencial de um conjunto de “features”, que a partir de uma peça bruta culmina em produto acabado.

Com base no trabalho apresentado por CARPENTER; MAROPOULOS (2000) apresentamos um grupo básico de “features” cuja geometria pode ser aplicada a descrição de peças prismáticas, como mostra a figura 4.3 .

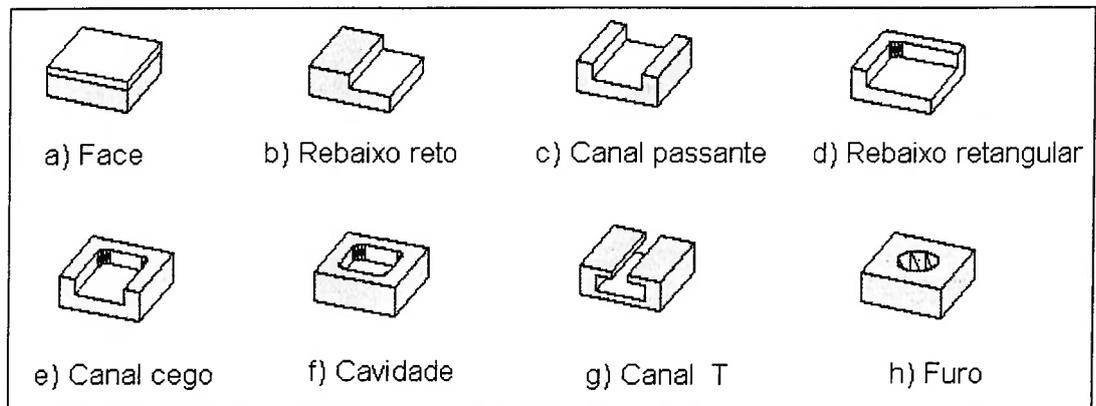


Figura 4.3 Grupo básico de “features” para peças prismáticas.

Um ponto importante que merece nota é o fato da interpretação e representação de peças por profissionais ligados às áreas de projeto, planejamento de processo, planejamento da fixação e outras, pode resultar em conjuntos distintos de “features” para uma mesma peça. Donde se conclui que modelos baseados em “features” não são únicos, estando sujeitos a interpretação pessoal destes profissionais.

Uma vez definido o conjunto de “features”, aplicamos a estas o sistema de referência da peça de forma a posicionar e orientar cada uma delas e também o conjunto de cotas necessárias ao seu dimensionamento. A figura 4.4 apresenta um exemplo de aplicação do sistema de referência da peça e as respectivas dimensões para cada “feature” do grupo anterior.

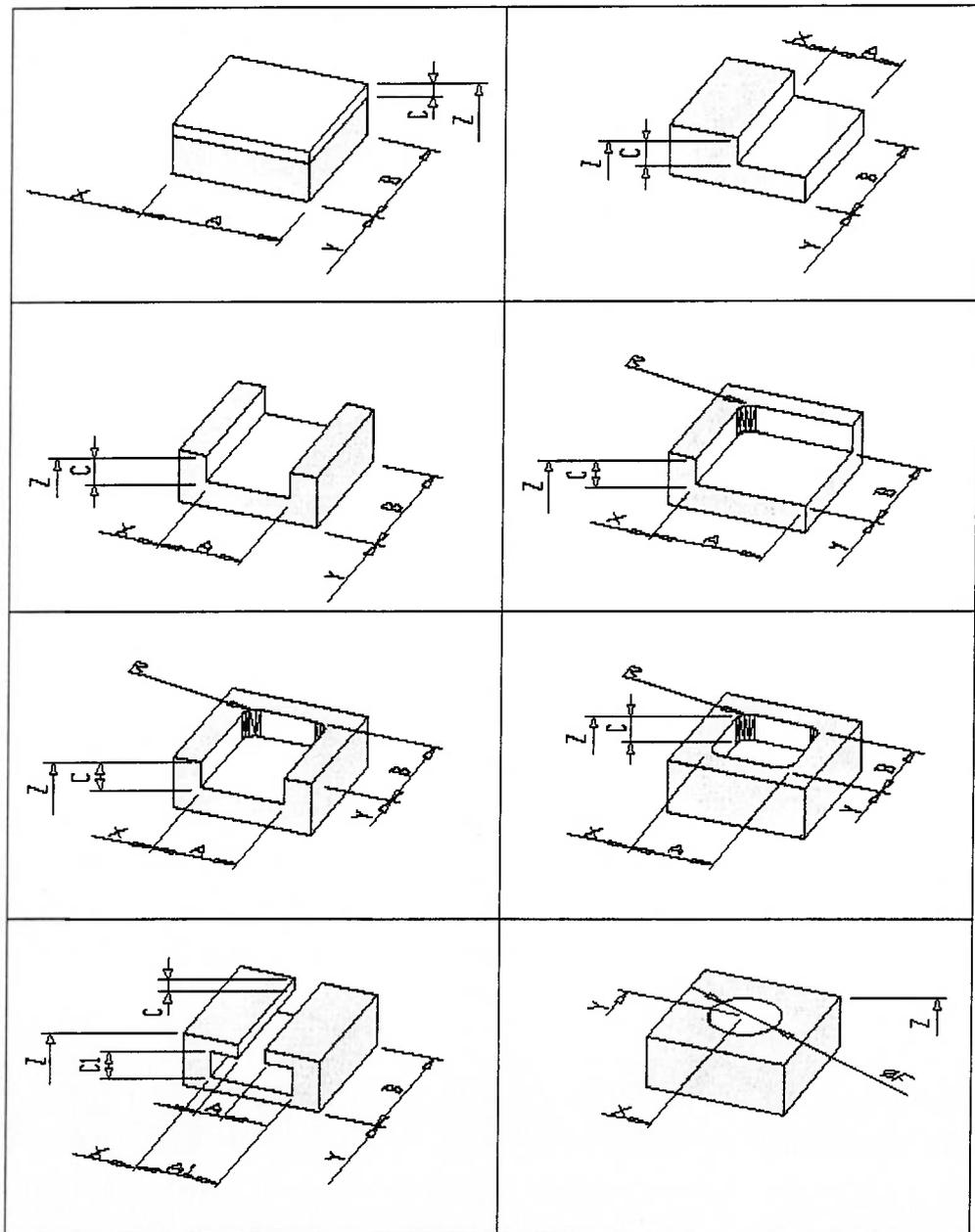


Figura 4.4 Aplicação do sistema de referência da peça e dimensões.

Para cada “feature”, levando-se em conta que o processo de usinagem corresponde ao fresamento frontal, pode-se definir o aqui denominado vetor de

acesso a “feature” (VAF). Este vetor é normal a “feature” e seu sentido aponta para a “feature”.

Assim, para o conjunto de “features” apresentadas na figura 4.4, este vetor possui a mesma direção e sentido contrário ao do eixo z do sistema de coordenadas da peça. No entanto, este vetor pode ser orientado paralelamente a qualquer um dos eixos deste sistema de referência, dependendo para isso unicamente do projeto do produto, podendo assumir valores positivos, negativos ou ambos.

O caso de furos passantes caracteriza a condição única em que o vetor de acesso a “feature” (VAF) poderá assumir valores positivos e negativos pelo fato de existirem dois sentidos para a remoção do material, como pode ser observado na figura 4.6 .

Em função do número de “features” e características particulares pertencentes a cada uma delas, há necessidade de se identificar e estabelecer para cada tipo de “feature” uma estrutura de dados adequada, onde uma vez selecionado um tipo de “feature”, o sistema possa apresentar ao operador todos os dados necessários à sua completa definição tais como dimensões e suas tolerâncias, tolerâncias de forma e posição, rugosidade, tratamento térmico / termoquímico e orientação.

4.3 Relação de dependência entre “features”

Para a construção efetiva de uma determinada peça, nota-se a existência de um conjunto de relações lógicas e sequenciais entre as “features” que devem ser removidas da matéria prima. Esta relações são impostas pelo projeto do produto e pelas limitações tecnológicas dos processos disponíveis no parque industrial.

Seguindo-se os mesmos critérios apresentados por SOUZA (1998), pode-se classificar estas relações em quatro tipos principais:

- **Dependência por Seqüência (DS)** – Uma “feature” é dita dependente por seqüência quando a remoção desta “feature” implicar na remoção de outra anterior a esta. Isto ocorre em casos como ilustrado na figura 4.5, onde para se remover F11 deve-se primeiro remover F9, o mesmo ocorre na execução de furos com rosca, quando primeiro se faz o furo e depois a rosca.
- **Dependência por Referência (DR)** – Uma “feature” é dita dependente por referência quando for necessário remover uma outra “feature” para que a partir desta seja gerada uma referência dimensional para a remoção da “feature” em questão. Pode-se observar, também na figura 4.5, que a F5 deve ser removida para que a partir da face gerada, possam ser tomadas as referências dimensionais para a usinagem de F7, F9, F11, etc.
- **Dependência Desejável (DD)** – Uma “feature” se enquadra como dependente desejável quando a precedência de remoção de outra “feature” resultar em algum tipo de facilidade produtiva, sendo que a não observância desta precedência não impossibilita a produção da peça. No caso dos furos definidos como F2 e F7 (figura 4.5) é recomendável, porém não obrigatória, a remoção de F3 e F6. A observância desta remoção prévia, implica em redução de tempo e desgaste da ferramenta de corte utilizada na execução dos furos, visto que não será necessário trabalhar um volume de material, no caso F3 e F6, que não faz parte do produto final.

- **Independente (I)** – Uma “feature” é dita independente quando não apresentar qualquer tipo dependência que se enquadre nos itens anteriores.

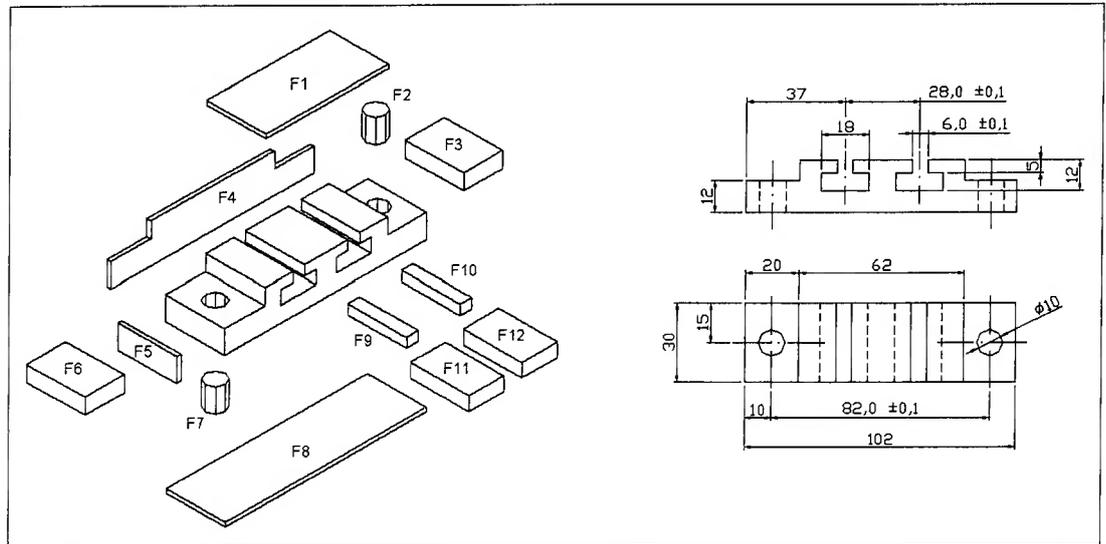


Figura 4.5 “Features” de uma peça acabada.

Com base nos dados das relações lógicas seqüenciais existentes entre “features”, é possível gerar a chamada matriz de remoção.

Pode-se definir matriz de remoção, como uma forma de expressar as relações de dependência entre as “features”, de forma que seja possível visualizar essas dependências e assim estabelecer uma heurística em potencial para a seqüência de usinagem. Maiores detalhes relacionados a utilização das informações provenientes da matriz de remoção são explicitados no capítulo 5, quando for abordado o processo de seleção de “features”.

Os modelos de matriz de remoção apresentados por HALEVI; WEILL (1995) e SOUZA (1998), geram algumas dificuldades de preenchimento e interpretação. Sendo assim, apresentamos na figura 4.6 um modelo mais adequado às necessidades

deste trabalho, com a inclusão de somatórias de linha, somatória de coluna e a representação da relação de dependência por meio de siglas.

Para melhor compreensão do processo de preenchimento e das conclusões que podem ser extraídas desta matriz, utilizamos a peça da figura 4.5 como demonstração e exemplo.

O correto preenchimento da matriz de remoção, deve ser realizado linha a linha e seguindo-se o sentido das setas de indicação de relação. Assim, a “feature” representada por F7 é Dependente por Referência (DR) de F4 e também é DR de F5, ou seja, para se remover F7 devemos primeiramente remover F4 e F5 que geram as faces de referência dimensional para se posicionar F7. Da mesma forma F7 possui Dependência Desejável (DD) de F6, ou seja, é vantajoso que se remova F6 antes que F7. De forma análoga a utilizada para a “feature” F7, pode-se preencher toda a matriz com as respectivas siglas (DS, DR, DD).

Quanto as conclusões extraídas da matriz, estas se dividem em dois grupos: somatória de linhas e colunas.

Na somatória por linha, por exemplo, temos que a F7 é duas vezes DR e uma vez DD. Isto está representado na somatória do lado direito da matriz.

No caso de F1, F4, F5 e F8 as somatórias são nulas, donde se conclui que são “features” independentes.

Já na somatória por coluna, utilizando-se novamente a F7, nota-se que existe apenas uma “feature” que lhe é DR, no caso F2. Em outras palavras, removendo-se F7 criamos uma referência dimensional para a usinagem de F2.

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12	Σ DS	Σ DR	Σ DD
F1															
F2			DD	DR			DR							2	1
F3						DR		DR						2	
F4															
F5															
F6					DR									1	
F7				DR	DR	DD								2	1
F8															
F9	DR				DR									2	
F10	DR									DR				2	
F11										DS			1		
F12												DS	1		
Σ C	2		1	2	3	2	1	1	2	1					

Figura 4.6 Modelo de matriz de remoção.

Com a obtenção da matriz de remoção, encerra-se a estrutura de representação do produto, sendo necessário discutir a representação dos demais componentes que podem fazer parte do dispositivo de fixação.

4.4 Representação dos elementos de fixação

Para que seja possível estabelecer a configuração de dispositivos de fixação de forma automática, é necessário o conhecimento prévio dos componentes disponíveis para sua constituição. Este conhecimento se refere aos tipos e usos de cada componente, bem como informações de ordem geométrica.

Neste trabalho é utilizado um sistema modular de fixação comercializado pela empresa francesa Norelem, conforme apresentado no apêndice A, o qual é constituído por elementos que podem ser montados conforme as necessidades da peça a ser fixada.

Em linhas gerais a classificação, descrição e a codificação destes elementos, segue a utilizada pelo fabricante, sendo que estas informações devem ser previamente disponibilizadas em um repositório de dados, a fim de serem utilizadas oportunamente.

Capítulo 5

MODELAGEM DO PLANEJAMENTO DE DISPOSITIVOS DE FIXAÇÃO

Uma vez definida a forma de representação, o domínio de aplicação e as ferramentas para tratar o problema de planejamento de dispositivos de fixação, conforme discutido nos capítulos precedentes, torna-se possível representar uma heurística de forma sistemática para obtenção do modelo de controle de tais dispositivos.

Esta heurística é composta por uma série de regras e passos à serem executados, de maneira que após a inserção dos parâmetros específicos do produto e dos componentes disponíveis, é possível fornecer um ou mais modelos de layouts de dispositivos com os quais seja possível obter o produto almejado.

5.1 Estrutura básica do planejamento de fixação

A estrutura básica do planejamento de fixação ora apresentada é composta por sete macro atividades. Porém, conforme já comentado no capítulo 2 a seqüência de execução destas atividades não está completamente consolidada, pois esta seqüência pode apresentar variações decorrentes, principalmente, das limitações de recursos do parque industrial. Sendo assim, um modelo representativo desta particularidade, de indefinição da seqüência de execução de atividades, também

apresentará tal característica, conforme pode ser observado no modelo PFS da figura 5.1 .

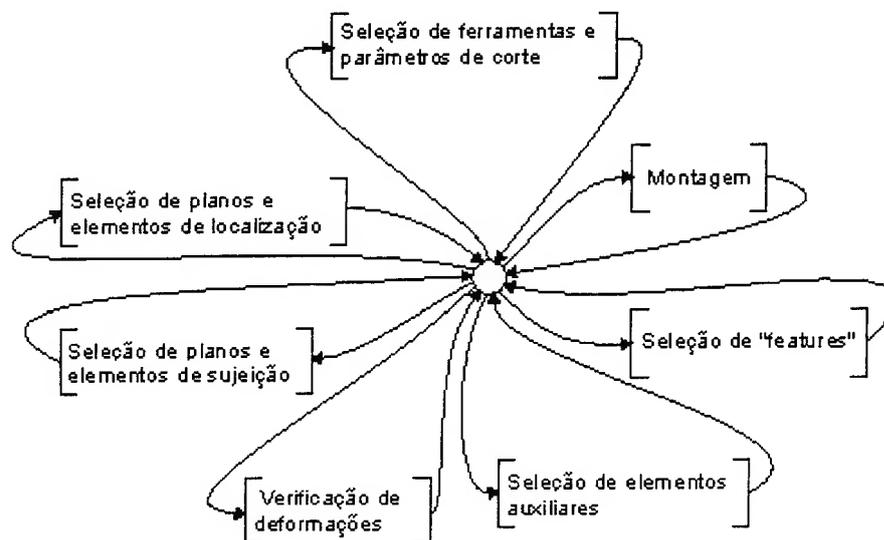


Figura 5.1 Modelo PFS do planejamento de fixação.

No entanto, para que o planejamento de dispositivos de fixação possa ser levado a termo consideramos, como alternativa cabível, inexistentes as limitações de recursos, o que nos possibilita desenvolver as atividades do planejamento de dispositivos de fixação de forma ordenada e seqüencial, conforme proposta apresentada no modelo PFS da figura 5.2 .

Note-se que a cada nova atividade do modelo proposto na figura 5.2 é acrescido um novo box distribuidor ao início da atividade. Tal representação é justificável pelo fato de que as informações necessárias ao desenvolvimento das atividades é disponibilizada oportunamente, o que acorda com a metodologia top-down e também possibilita simplificar a representação das marcas atribuídas aos grafos E-MFG.

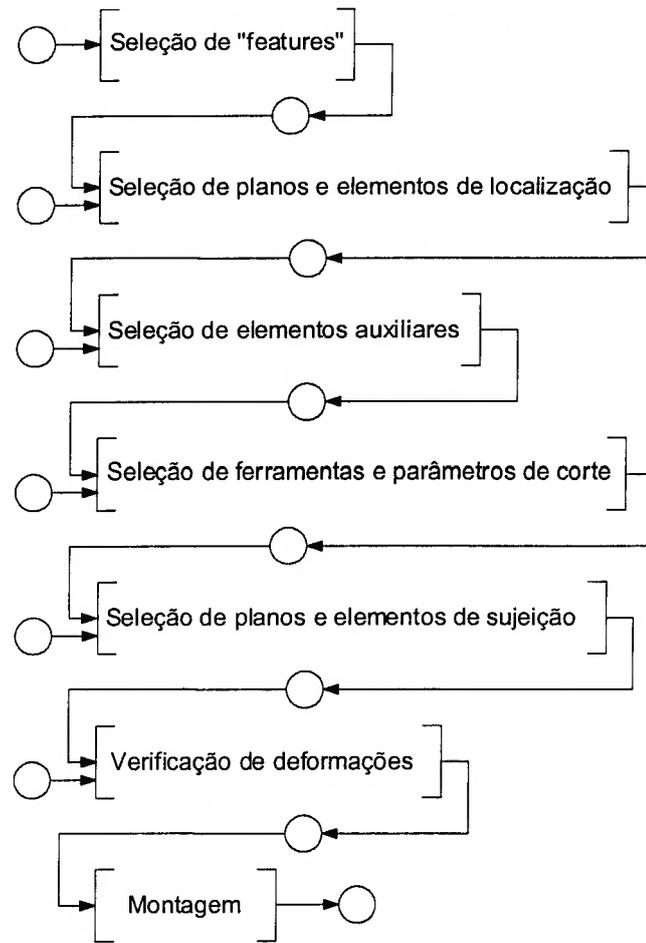


Figura 5.2 Modelo PFS da estrutura de planejamento de fixação proposto.

Nos itens subsequentes, estas atividades (representadas por elementos atividade do modelo PFS) são detalhadas por refinamento sucessivo utilizando-se a metodologia E-MFG / PFS.

5.2 Seleção de “features”

Partindo-se do modelo macro apresentado na figura 5.2, a atividade “Seleção de features“ pode ser refinada em duas novas atividades distintas, denominadas

respectivamente “Seleção da feature inicial” e “Seleção de features análogas” como mostra a figura 5.3 .

\ Seleção de “features”

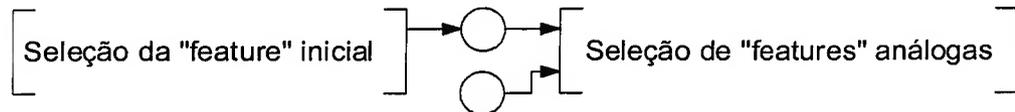


Figura 5.3 Refinamento da atividade “Seleção de features”.

A atividade “Seleção da feature inicial” se caracteriza pela necessidade de se iniciar a seqüência de usinagem do produto, tendo-se como ponto de partida uma “feature” que seja independente das demais e que após sua usinagem possa ser utilizada como plano de referência ou plano de localização.

No caso da atividade “Seleção de features análogas”, procura-se agrupar o maior número possível de “features”, com características análogas a da “feature” inicial, afim de se obter um conjunto de “features” a serem usinadas em um mesmo dispositivo.

Sendo assim, estas atividades são modeladas nos itens subsequentes.

5.2.1.1 Seleção da “feature” inicial

A atividade “Seleção da feature inicial“, baseia-se em uma série de procedimentos (atividades do PFS) ora representada pelo modelo PFS da figura 5.4 .

Estes procedimentos contemplam a necessidade de se iniciar a usinagem por uma “feature” que seja totalmente independente das demais, porém , considerando-se

que mais de uma “feature” pode apresentar esta característica, acrescentamos os critérios para desempate.

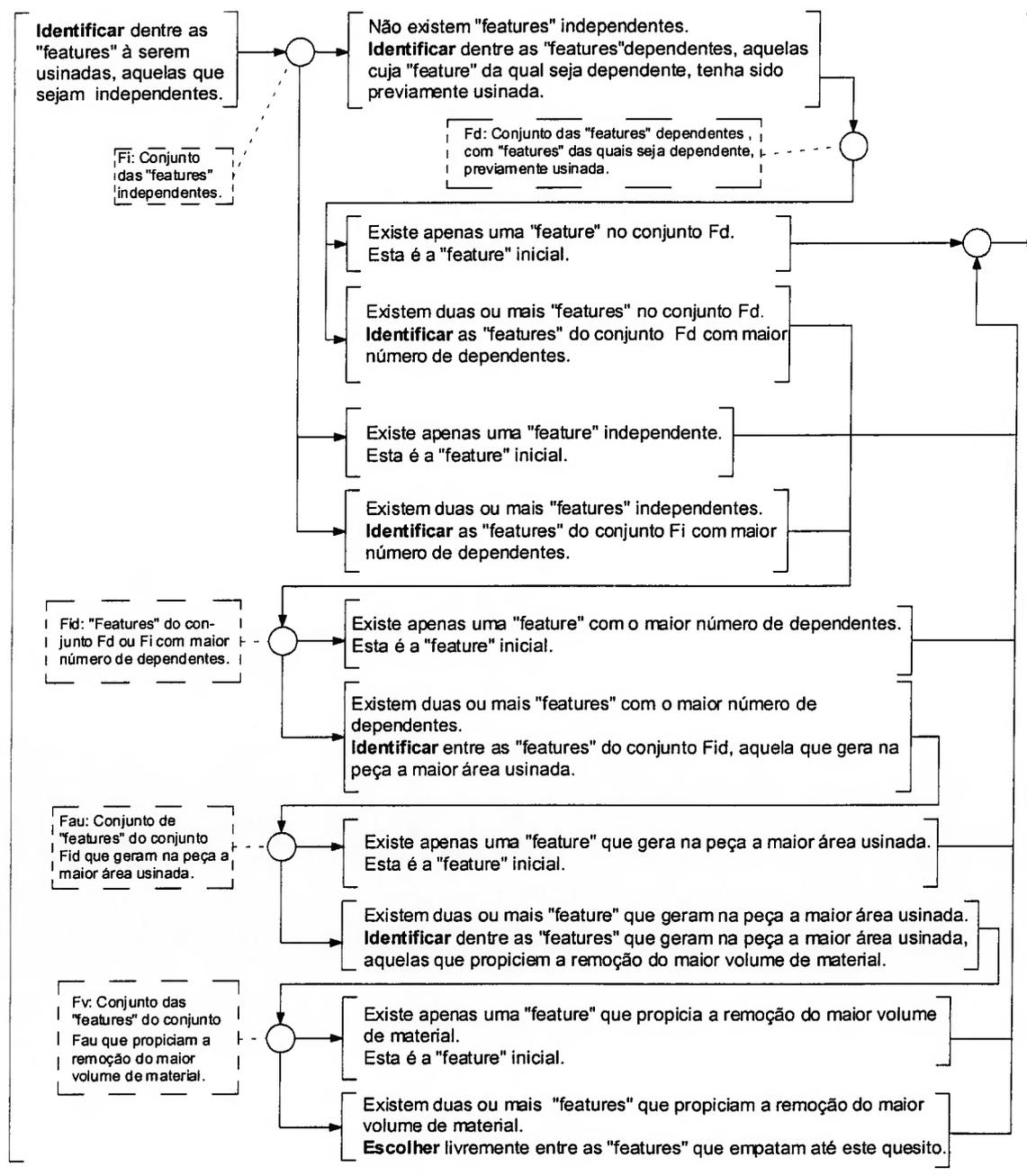


Figura 5.4 Modelo PFS para obtenção da “feature” inicial.

5.2.1.2 Modelo E-MFG para obtenção da “feature” inicial

Seguindo-se a metodologia E-MFG/PFS a partir do grafo PFS da figura 5.4, obtém-se o grafo E-MFG para a seleção da “feature “ inicial, conforme ilustra a figura 5.5 .

As marcas individuais utilizadas neste grafo são compostas por um vetor de atributos com informações provenientes das “features” à serem removidas e da matriz de remoção. Os atributos da marca m de acordo com a figura 5.5, podem conter valores positivos maiores ou iguais a zero, sendo que um atributo com valor zero significa a inexistência da informação em questão.

A representação do *Sinal de início de análise* corresponde ao comando gerado pelo operador do sistema, que após a inserção das informações necessárias, dá início ao processo de planejamento de fixação.

Os “box” são definidos como:

Box *Início* - contem as marcas referentes às “features” à serem usinadas.

Box agrupador - representa a operação de composição das marcas em uma matriz de atributos com número de linhas correspondente ao número de “features” a serem usinadas, sendo que cada linha contém atributos oriundos de uma única “feature”, mantendo desta forma, a organização e individualidade dos atributos.

Box controlador – atualiza o atributo p , de 0 para 1, na linha que possibilite o disparo das transições t_2 , t_4 , t_6 , t_8 ou t_{11} .

Box *BI* - armazena a marca com a seleção da “feature” inicial e transmite esta informação ao banco de dados do sistema.

t8: se $Fv_j = \text{Máx} \{Fv_j\}$ e $n = 1$ então dispara t8 ;

t9: se $Fv_j = \text{Máx} \{Fv_j\}$ e $n > 1$ então dispara t9 ;

t10: se $Fi_j = 0$ então dispara t10 ;

t11: se $Fd_j = 1$ e $n = 1$ então dispara t11

A filtragem seletiva denominada F_s permite a transmissão da linha cujo atributo F_u seja igual a 1.

A letra n presente nas regras adicionais de disparo das transições representa o número de linhas da matriz de atributos que empatam em relação a um determinado quesito.

O disparo da transição t_9 se dá quando houver indefinição quanto a seleção da “feature” inicial. A marca é então enviada a uma entidade externa onde é executada a tarefa “Fazer escolha”. Esta tarefa corresponde a interação do usuário com o sistema, por meio de uma interface que possibilite as seguintes funções:

- apresentar as “features” que empataram até o quesito especificado na regra adicional de disparo de t_9 ;
- possibilitar que o usuário selecione apenas uma das “features” apresentadas, caracterizando-se numa modificação da marca utilizada no modelo de controle;
- retornar ao modelo de controle para que seja finalizado o processo de obtenção da “feature” inicial.

5.2.2.1 Seleção de “features” análogas

A atividade “Seleção de features análogas”, é representada pelo modelo PFS da figura 5.6, onde são detalhadas as atividades decorrentes do seu refinamento.

Executando-se estas atividades estamos determinando um conjunto de “features” candidatas a serem usinadas no mesmo dispositivo de fixação e também definindo a seqüência de remoção. No entanto, este conjunto poderá sofrer alterações com a exclusão de uma ou mais “features”, pelo fato do sistema de localização e sujeição necessitarem de regiões para atuar. Isto pode ocasionar condições conflitantes entre os volumes a serem removidos, a localização e a sujeição, impossibilitando a elaboração da configuração do dispositivo.

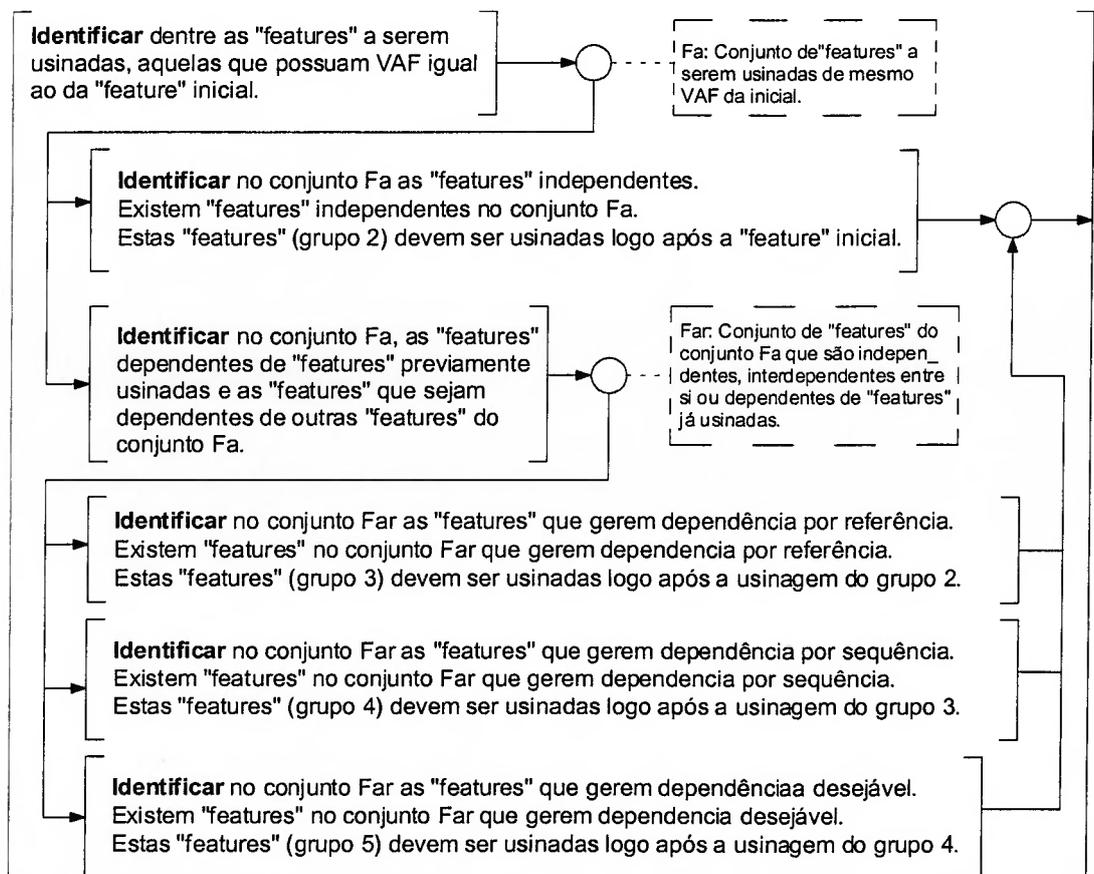
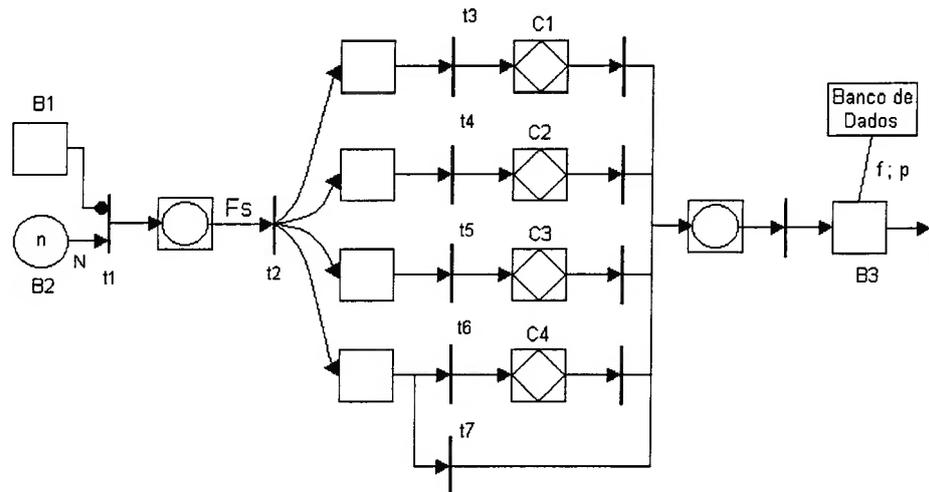


Figura 5.6 Modelo PFS para obtenção de “features” análogas.

5.2.2.2 Modelo E-MFG para obtenção das “features” análogas

Refinando-se progressivamente os elementos atividade e os elementos distribuidores do modelo PFS da figura 5.6 por elementos E-MFG, obtêm-se o modelo de controle para obtenção de “features” análogas, conforme figura 5.7 .



$$\text{marca } m \begin{pmatrix} f_1 & Fu_1 & Fi_1 & p_1 & Vaf_1 & Far_1 & Gdr_1 & Gds_1 & Gdd_1 \\ f_2 & Fu_2 & Fi_2 & p_2 & Vaf_2 & Far_2 & Gdr_2 & Gds_2 & Gdd_2 \\ f_n & Fu_n & Fi_n & p_n & Vaf_n & Far_n & Gdr_n & Gds_n & Gdd_n \end{pmatrix}$$

Os atributos são definidos como:

f_j – número identificador da “feature” $_j$ de acordo com a numeração definida na matriz de remoção.

Fu_j – “feature” $_j$ à ser usinada.

Fi_j – “feature” $_j$ independente.

p_j – indicador de seqüência de remoção.

Vaf_j – vetor de acesso a “feature” $_j$.

Far_j – “feature” $_j$ dependente de “feature” previamente usinada ou selecionada como análoga.

Gdr_j – “feature” $_j$ que gera dependência por referência.

Gds_j – “feature” $_j$ que gera dependência por seqüência.

Gdd_j – “feature” $_j$ que gera dependência desejável.

Figura 5.7 Modelo de controle para obtenção de “features” análogas.

As regras adicionais de disparo das transições são definidas como:

t3: se $F_{ij} = 1$ então dispara t3 ; t4: se $F_{ar_j} = 1$ e $G_{dr} = 1$ então dispara t4

t5: se $F_{ar_j} = 1$ e $G_{ds} = 1$ então dispara t5 ;

t6: se $F_{ar_j} = 1$ e $G_{dd} = 1$ então dispara t6 ;

t7: se não existe $V_{af_j} = V_{af}$ da “f” inicial então dispara t7 .

A filtragem seletiva denominada F_s permite a transmissão da linha cujo atributo V_{af_j} seja igual ao V_{af} da “feature” inicial e F_u seja igual a 1.

Os “box” são definidos como:

- Box B_2 – contém as marcas referentes às “features” da peça.
- Box controlador C_1 – atualiza o atributo p , de 0 para 2, na linha que possibilite o disparo da transição t3.
- Box controlador C_2 – atualiza o atributo p , de 0 para 3, na linha que possibilite o disparo da transição t4.
- Box controlador C_3 – atualiza o atributo p , de 0 para 4, na linha que possibilite o disparo da transição t5.
- Box controlador C_4 – atualiza o atributo p , de 0 para 5, na linha que possibilite o disparo da transição t6.
- O box B_3 - armazena a marca com a seleção das “features” análogas e transmitem estas informações ao banco de dados do sistema. Esta marca, devido a filtragem seletiva do arco orientado, é composta pelo atributo f que identifica a “feature” definida como análoga e também pelo atributo p que indica a seqüência de remoção entre as “features” selecionadas.

5.3 Orientação e posicionamento da peça

Após ser determinado o conjunto de “features” à serem usinadas e seguindo-se a seqüência de atividades apresentadas no grafo da figura 5.2 , o passo seguinte é descrever e refinar a atividade “Seleção de planos e elementos de localização” que tem por objetivo determinar o conjunto de planos, elementos e pontos de localização, necessários para se posicionar e orientar a peça durante sua usinagem.

No processo de orientação e posicionamento da peça utiliza-se o princípio 3-2-1, apresentado no anexo B , cujo objetivo é obter três planos ortogonais entre si, onde serão dispostos componentes de localização que reduzem de 12 para 3 os graus de liberdade de um peça no espaço, o que garante seu posicionamento e orientação.

Segundo o princípio 3-2-1, o primeiro plano a ser determinado é o plano primário onde deve-se posicionar três elementos localizadores. Em seguida é obtido o plano secundário com dois elementos localizadores e por último o plano terciário com apenas um elemento localizador.

A figura 5.8 apresenta o refinamento da atividade “Seleção de planos e elementos de localização” que dá origem a três novas atividades, sendo que cada uma destas novas atividades possui outras duas atividades que lhe são decorrentes.

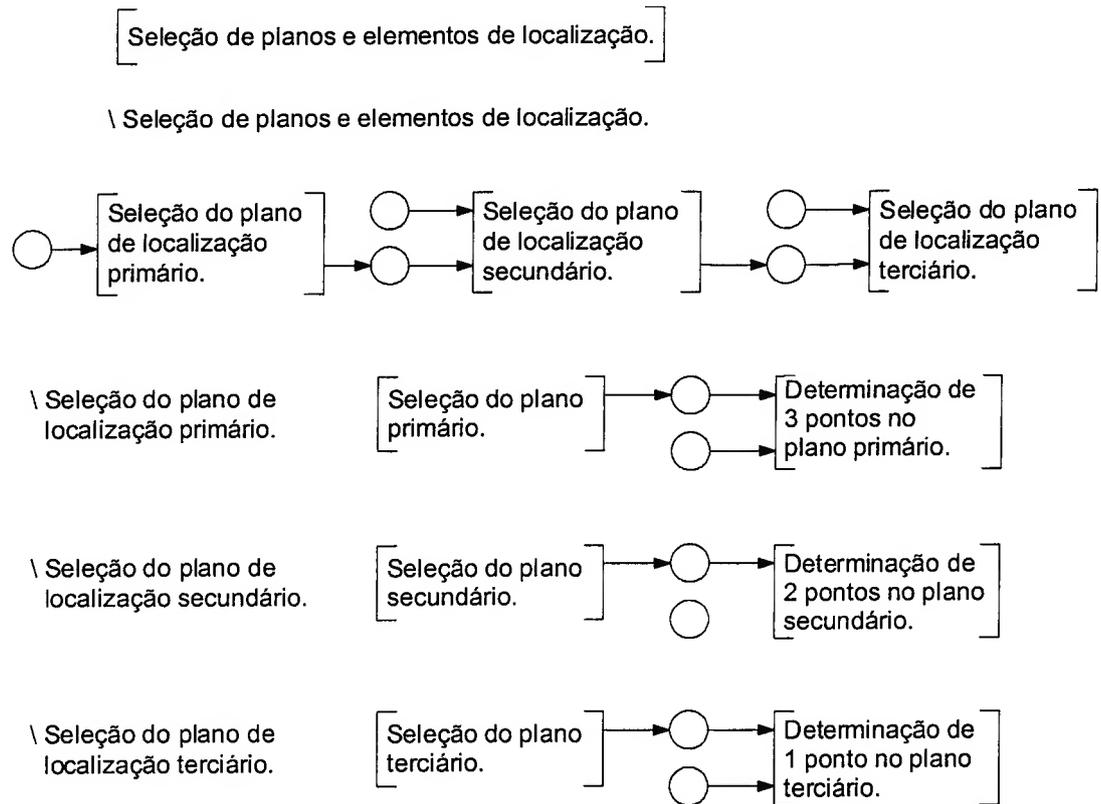


Figura 5.8 Refinamento da atividade “Seleção de planos e elementos de localização”.

Os sub-itens seguintes são dedicados a descrição e modelagem de cada uma destas atividades.

5.3.1.1 Plano primário de localização

Para se determinar os planos de localização deve-se primeiramente atualizar o modelo da matéria prima. Esta atualização consiste na remoção dos volumes correspondentes às “features” a serem usinadas no mesmo dispositivo de fixação. Assim, evitamos que elementos de localização sejam posicionados em locais sujeitos a usinagem.

O conjunto de regras para se definir o plano primário, onde são posicionados três elementos localizadores, se divide em duas abordagens básicas:

- 1- Todos os elementos localizadores são posicionados em um único plano.
- 2- Os elementos localizadores são distribuídos entre dois ou três planos paralelos.

O plano primário de localização pode então ser compreendido de forma subjetiva, sendo este composto por um grupo de “features” paralelas entre si. Com isso pretende-se que a sistemática de projeto de dispositivos de fixação apresentada neste trabalho possa ser aplicável ao maior número possível de peças prismáticas. A figura 5.12 apresenta um exemplo no qual o plano primário é composto por três planos.

No trabalho apresentado por SOUZA (1998) apenas a primeira abordagem foi contemplada, o que restringe sua aplicação à peças de baixa complexidade geométrica. Dispositivos de usinagem assim concebidos, podem vir a produzir sistemas de localização onde grandes porções do produto sejam usinados em balanço, favorecendo desta forma sua deformação.

Sendo assim, apresentamos nas figuras 5.9 e 5.10 os grafos correspondentes a estas abordagens, onde são definidas “features” e grupos de “features” candidatas a plano primário e finalmente é determinado o plano primário no grafo da figura 5.11 .

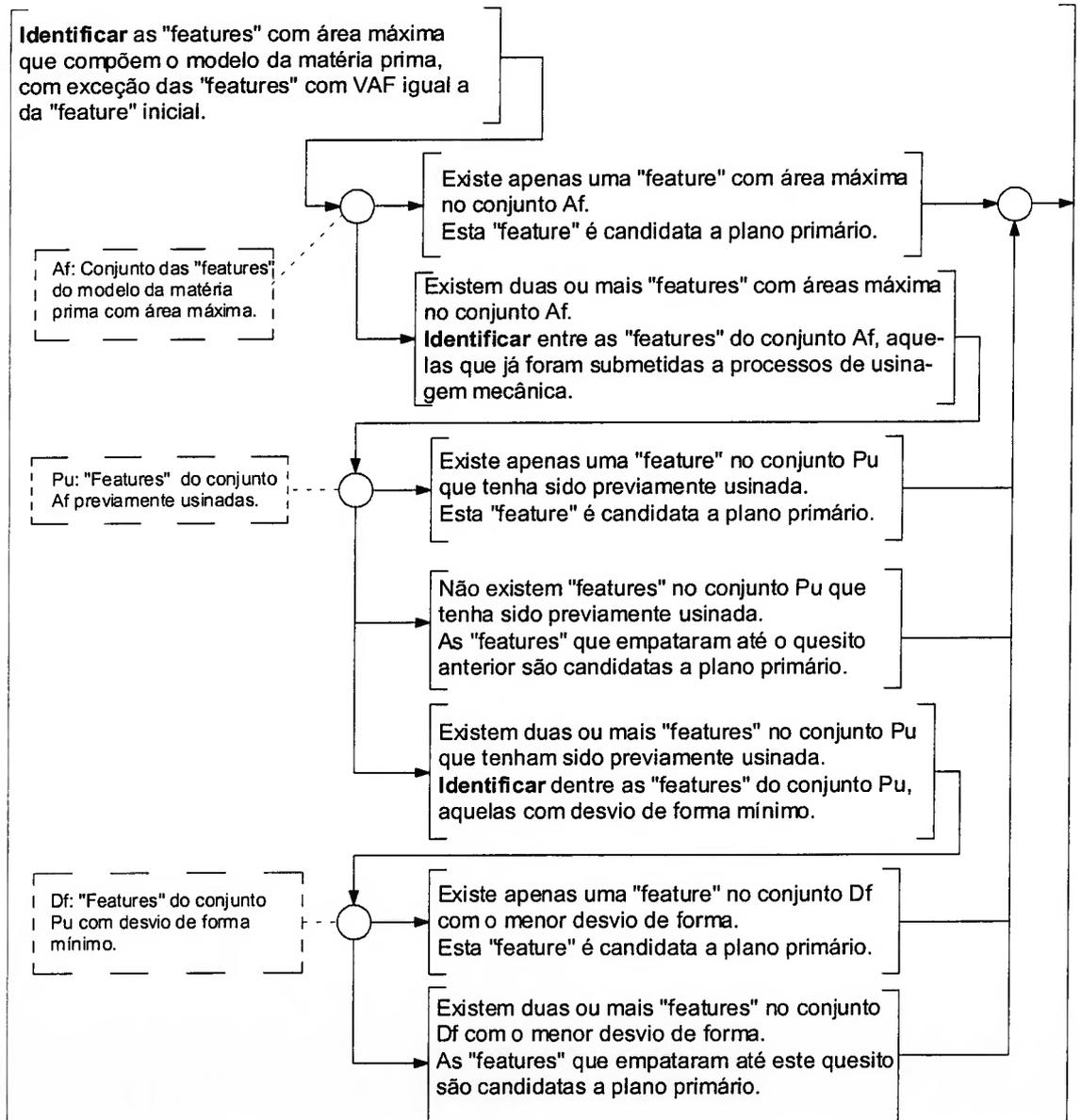


Figura 5.9 Modelo PFS para obtenção do plano primário, considerando-se que os elementos localizadores são posicionados em um único plano.

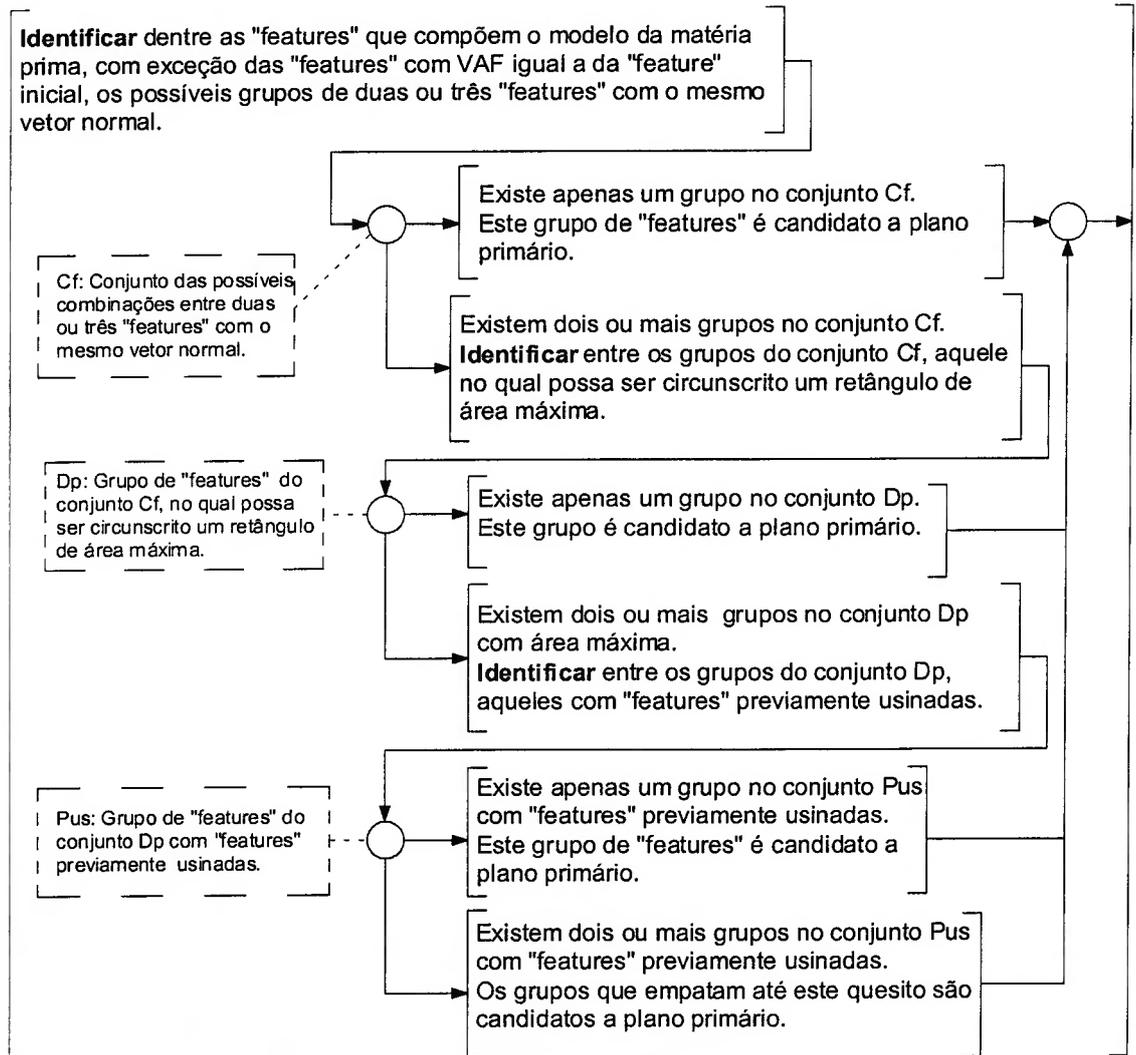


Figura 5.10 Modelo PFS para obtenção do plano primário, supondo-se que os elementos localizadores possam ser distribuídos entre dois ou três planos.

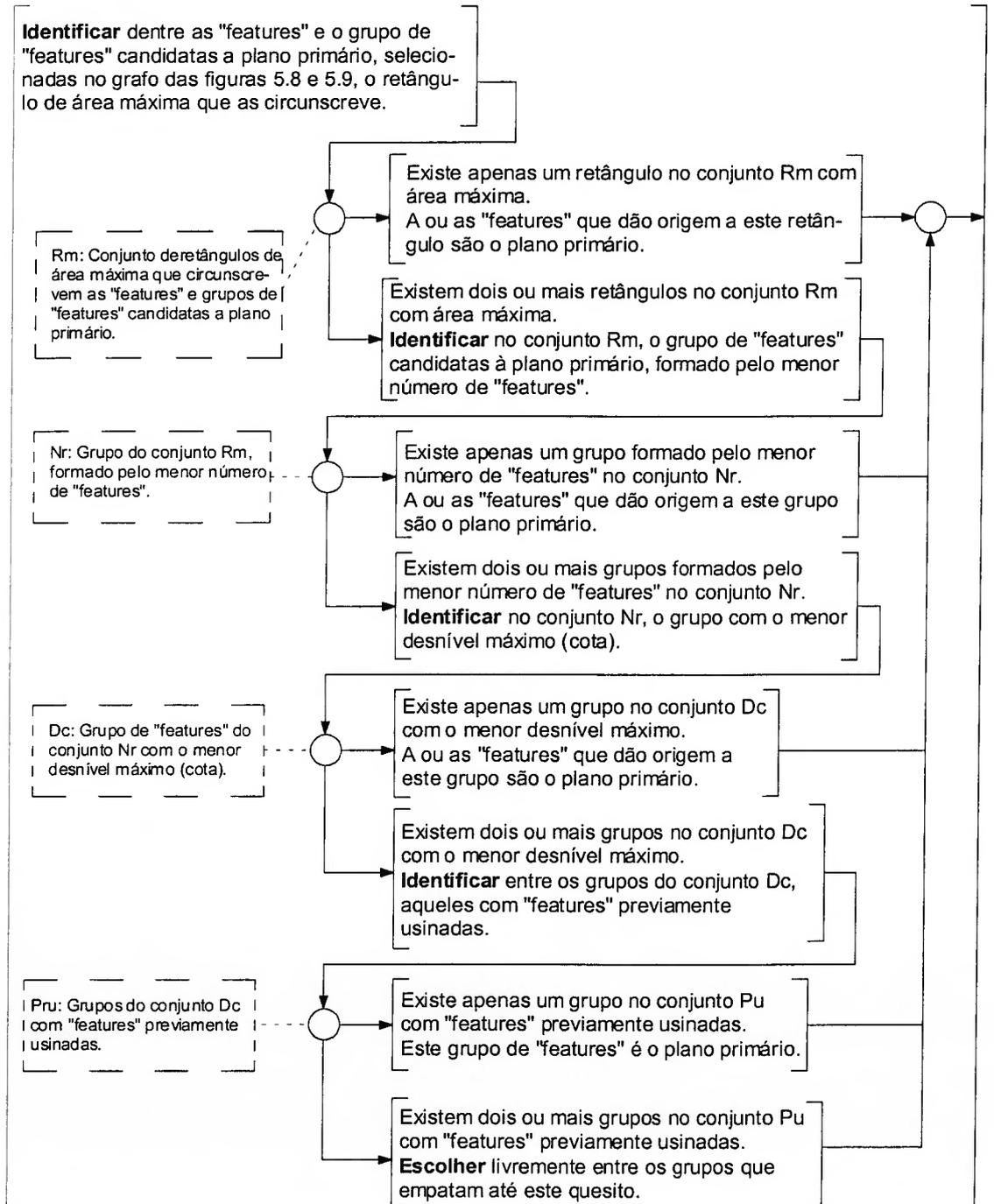


Figura 5.11 Modelo PFS para obtenção do plano primário.

5.3.1.2 Modelo E-MFG para seleção do plano primário

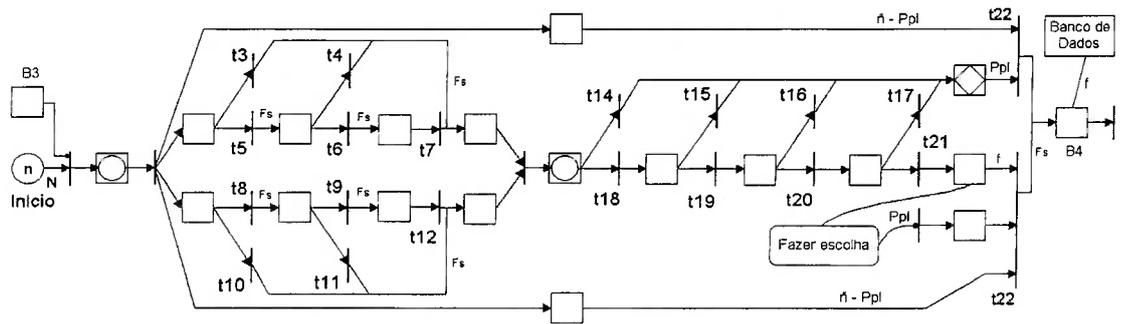
De forma análoga a apresentada no item 5.3.2, é apresentado a seguir na figura 5.12, o modelo de controle E-MFG para seleção do plano primário com as definições de marcas, boxes e regras adicionais de disparo.

As marcas m individuais utilizadas neste grafo são compostas por um vetor de atributos com informações provenientes das “features” e da matriz de remoção. Os atributos da marca estão descritos na figura 5.12 e podem conter valores positivos maiores ou iguais a zero, sendo que um atributo com valor um ou zero significa, respectivamente, a existência ou a inexistência da informação.

A porta habilitadora $s2$ é proveniente do grafo E-MFG da figura 5.7 e possibilita o início do processo de obtenção do plano primário de localização.

Os “box” são definidos como:

- Box *Início* - contém as marcas referentes às “features” da peça.
- Box agrupador - representa a operação de composição das marcas em uma matriz de atributos.
- Box controlador – atualiza o atributo Ppl , de 0 para 1, na linha que possibilite o disparo das transições $t14$, $t15$, $t16$ ou $t17$.
- Box $B3$ - armazena a marca com a seleção do plano primário de localização. Esta marca é composta apenas pelo atributo que identifica a ou as “features” definidas como plano primário de localização, devido a filtragem seletiva do arco orientado e esta informação é transmitida ao banco de dados do sistema.



$$\text{marca } m \left(\begin{array}{cccccccccccc} f_1 & \text{Vaf}_1 & \text{Fau}_1 & \text{Pu}_1 & \text{Df}_1 & \text{Cf}_1 & \text{Dp}_1 & \text{Pus}_1 & \text{Nr}_1 & \text{Dc}_1 & \text{Ppl}_1 \\ f_2 & \text{Vaf}_2 & \text{Fau}_2 & \text{Pu}_2 & \text{Df}_2 & \text{Cf}_2 & \text{Dp}_2 & \text{Pus}_2 & \text{Nr}_2 & \text{Dc}_2 & \text{Ppl}_2 \\ f_n & \text{Vaf}_n & \text{Fau}_n & \text{Pu}_n & \text{Df}_n & \text{Cf}_n & \text{Dp}_n & \text{Pus}_n & \text{Nr}_n & \text{Dc}_n & \text{Ppl}_n \end{array} \right)$$

Os atributos são definidos como:

- f_j – número identificador da “feature” $_j$.
- Vaf_j – vetor de acesso a “feature” $_j$.
- Fau_j – área da “feature” $_j$.
- Pu_j – “feature” $_j$ previamente usinada.
- Df_j – desvio de forma da “feature” $_j$.
- Cf_j – conjunto de combinações entre duas ou três “features” de mesmo VAF.
- Dp_j – área das respectivas combinações de “features” do conjunto Cf .
- Pus_j – indicação de existência de “features” previamente usinadas do conjunto Cf .
- Nr_j – número de “features” que compõem a “feature” candidata a plano primário de localização.
- Dc_j – cota mínima entre “features” candidatas a plano primário de localização.
- Ppl_j – indicador de plano primário de localização.

Fig. 5.12 Modelo de controle E-MFG para obtenção do plano primário de localização.

As regras adicionais de disparo das transições são definidas como:

- t3: se $\text{Vaf}_j \neq \text{Vaf}$ da “f” inicial e $\text{Fau}_j = \text{Máx} \{\text{Fau}_j\}$ e $n = 1$ então dispara t3 ;
- t4: se $\text{Pu}_j = 1$ e $n = 1$ então dispara t4 ;
- t5: se $\text{Vaf}_j \neq \text{Vaf}$ da “f” inicial e $\text{Fau}_j = \text{Máx} \{\text{Fau}_j\}$ e $n > 1$ então dispara t5 ;
- t6: se $\text{Pu}_j = 0$ e $n = 0$ ou $\text{Pu}_j = 1$ e $n > 1$ então dispara t6 ;
- t7: $\text{Df}_j = \text{Mín} \{\text{Df}_j\}$ e $n \geq 1$ então dispara t7 ;
- t8: se $\text{Vaf}_j \neq \text{Vaf}$ da “f” inicial e $\text{Cf}_j = 1$ e $n > 1$ então dispara t8 ;

- t9: se $Dp_j = \text{Máx} \{Dp_j\}$ e $n > 1$ então dispara t9 ;
- t10: se $Vaf_j \neq Vaf$ da “f” inicial e $Cf_j = 1$ e $n = 1$ então dispara t10 ;
- t11: se $Dp_j = \text{Máx} \{Dp_j\}$ e $n = 1$ então dispara t11 ;
- t12: se $Pus_j = 1$ e $n \geq 1$ então dispara t12 ;
- t14: se $Fau_j = \text{Máx} \{Fau_j\}$ ou $Dp_j = \text{Máx} \{Dp_j\}$ e $n = 1$ então dispara t14 ;
- t15: se $Nr_j = \text{Mín} \{Nr_j\}$ e $n = 1$ então dispara t15 ;
- t16: se $Dc_j = \text{Mín} \{Dc_j\}$ e $n = 1$ então dispara t16 ;
- t17: se Pu_j ou $Pus_j = 1$ e $n = 1$ então dispara t17 ;
- t18: se $Fau_j = \text{Máx} \{Fau_j\}$ ou $Dp_j = \text{Máx} \{Dp_j\}$ e $n > 1$ então dispara t18 ;
- t19: se $Nr_j = \text{Mín} \{Nr_j\}$ e $n > 1$ então dispara t19 ;
- t20: se $Dc_j = \text{Mín} \{Dc_j\}$ e $n > 1$ então dispara t20 ;
- t21: se Pu_j ou $Pus_j = 1$ e $n > 1$ então dispara t21 ;
- t22: se $Ppl_j = 1$ então dispara t22 .

A filtragem seletiva denominada F_s permite a transmissão da linha cujo atributo possibilita o disparo da transição imediatamente anterior.

A letra n presente nas regras adicionais de disparo das transições representa o número de linhas da matriz de atributos que empatam em relação a um determinado quesito.

O disparo da transição t_{21} se dá quando houver indefinição quanto a seleção do plano primário de localização. A marca é então enviada a uma entidade externa onde é executada a tarefa “Fazer escolha”. Esta tarefa corresponde a interação do usuário com o sistema, por meio de uma interface que possibilite as seguintes funções:

- apresentar os conjuntos de “features” que empataram até o quesito especificado na regra adicional de disparo de t_{21} ;

- possibilitar que o usuário selecione apenas um dos conjuntos apresentados, caracterizando-se numa modificação da marca utilizada no modelo de controle;
- retornar ao modelo de controle para que seja finalizado o processo de obtenção do plano primário de localização.

5.3.2.1 Pontos de localização no plano primário

Uma vez selecionado o conjunto de “features” que definem o plano primário de localização, é possível se determinar três pontos neste plano, onde serão posicionados os elementos de localização.

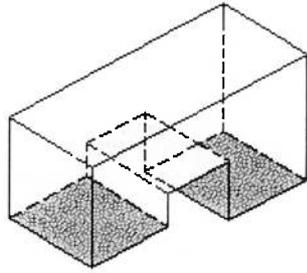
Há necessidade de se posicionar estes pontos de forma que fiquem o mais distante possível entre si, visando-se com isso, minimizar os desvios da peça com relação às tolerâncias de forma e posição.

A figura 5.13 apresenta um exemplo no qual o plano primário é composto por três “features”, nas quais devem ser distribuídos os elementos localizadores de forma apropriada.

Para compreensão do processo de obtenção dos pontos de localização no plano primário é apresentado, a seguir, o grafo PFS (figura 5.14) com a descrição das atividades necessárias à obtenção destes pontos.

A definição dos pontos de localização no plano primário, nos conduz a seleção dos elementos localizadores, visto que a projeção do diâmetro da região de apoio do localizador é um parâmetro fundamental para o desenvolvimento desta

etapa. Portanto, ao término desta, teremos determinado os elementos localizadores e os pontos de contato entre estes elementos e a peça.



Plano primário formado por três planos paralelos

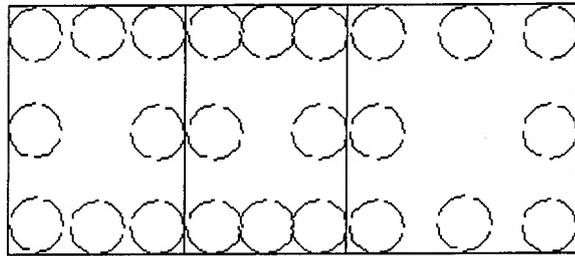


Figura 5.13 Plano primário e os possíveis pontos de localização.

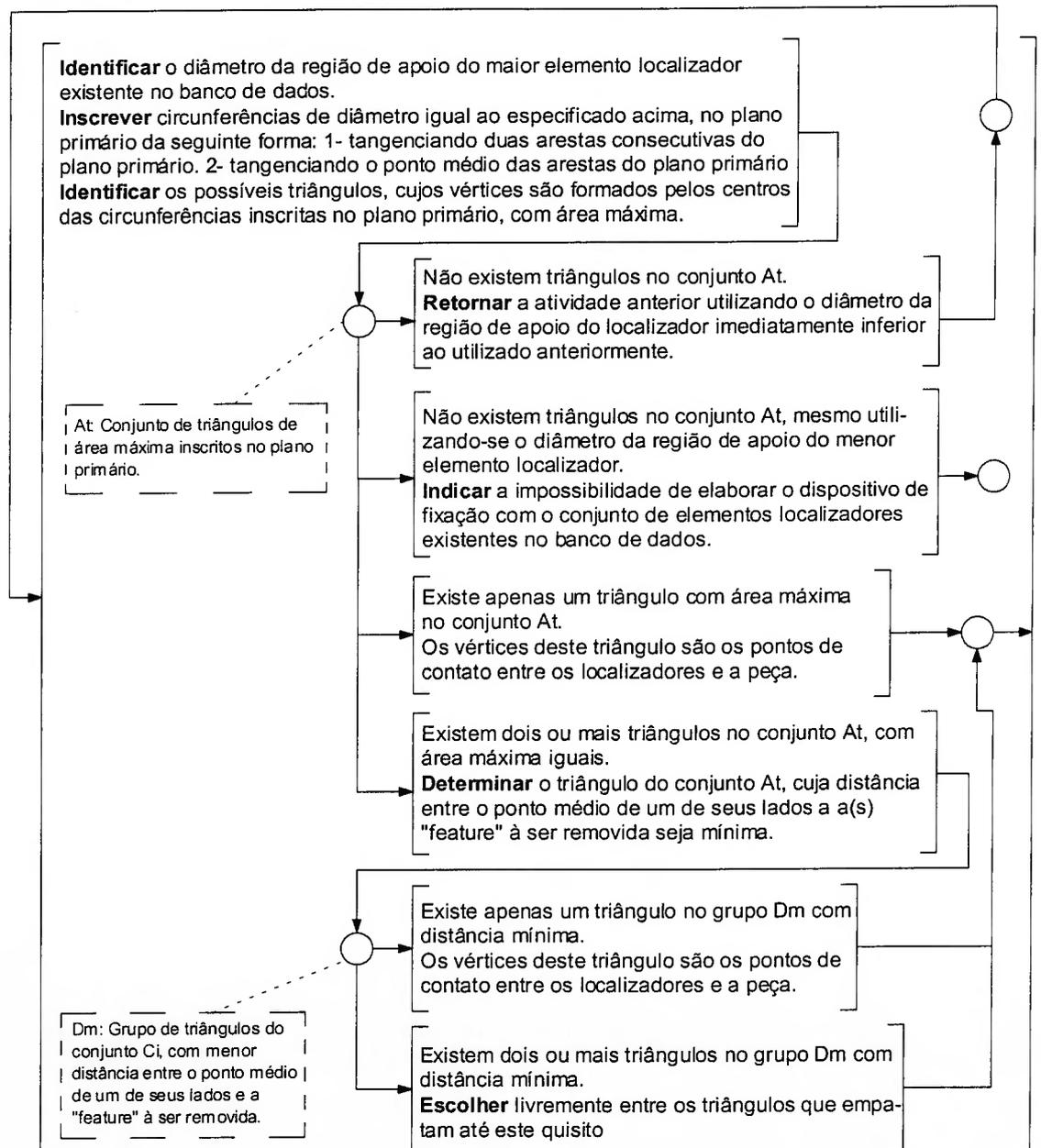
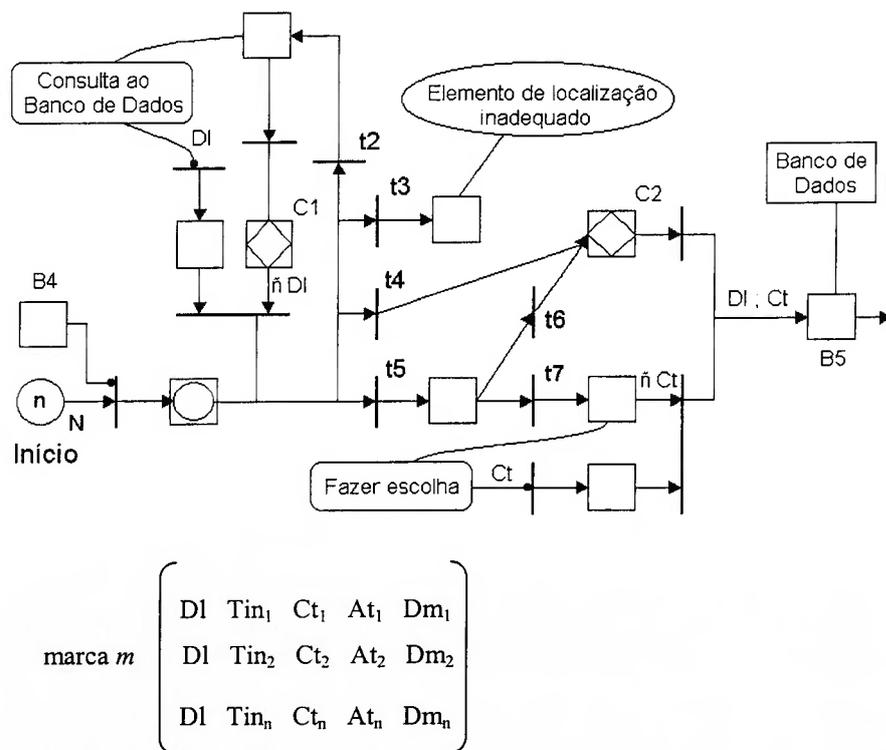


Figura 5.14 Modelo PFS para determinação dos pontos de localização no plano primário.

5.3.2.2 Modelo E-MFG para determinação de pontos de localização no plano primário

Substituindo-se progressivamente os elementos atividade e os elementos distribuidores do grafo PFS da figura 5.14 por elementos E-MFG, obtêm-se o modelo de controle para obtenção dos pontos de localização no plano primário, conforme figura 5.15 abaixo.



Os atributos são definidos como:

DI – diâmetro da região de apoio do elemento localizador.

Tin_j – indicador da existência de triângulos inscritos no plano primário de localização.

Ct_j – coordenadas dos vértices do triângulo inscrito no plano primário de localização.

At_j – área do triângulo inscrito no plano primário de localização.

Dm_j – distância mínima entre o ponto médio de um dos lados do triângulo e a “feature” à ser usinada.

Figura 5.15 Modelo E-MFG para determinação dos pontos de localização no plano primário.

As regras adicionais de disparo das transições são definidas como:

t2: se $Tin_j = 0$ então dispara t2 ;

t3: se $Dl = \text{Mín} \{Dl_n\}$ e $Tin_j = 0$ então dispara t3 ;

t4: se $At_j = \text{Máx} \{At_j\}$ e $n = 1$ então dispara t4 ;

t5: se $At_j = \text{Máx} \{At_j\}$ e $n > 1$ então dispara t5 ;

t6: $Dm_j = \text{Mín} \{Dm_j\}$ e $n = 1$ então dispara t6 ;

t7: $Dm_j = \text{Mín} \{Dm_j\}$ e $n > 1$ então dispara t7 .

Os atributos da marca m descritos na figura 5.15 podem conter valores positivos maiores ou iguais a zero, sendo que atributos com valor zero significa a inexistência da informação.

A letra n presente nas regras adicionais de disparo das transições representa o número de linhas da matriz de atributos que empatam em relação a um determinado quesito.

Os “box” são definidos como:

- Box *Início* - contém marcas referentes ao conjunto de triângulos inscritos no plano primário de localização.
- Box agrupador - representa a operação de composição das marcas em uma matriz de atributos com número de linhas correspondente ao número de triângulos inscritos no plano primário, sendo que cada linha contém atributos oriundos de uma única “feature”, mantendo desta forma, a organização e individualidade dos atributos.
- Box controlador C1 – atualiza a marca com relação aos atributos dependentes de Dl.

- Box controlador C2 – atualiza a marca mantendo apenas a linha que proporciona o disparo das transições t_4 e t_6 .
- Box B_4 - armazena a marca com a seleção do elemento localizador e suas coordenadas e também transmite estas informações ao bando de dados.

O disparo da transição t_7 se dá quando houver indefinição quanto ao melhor triângulo de localização. A marca é então enviada a uma entidade externa onde é executada a tarefa “Fazer escolha”. Esta tarefa corresponde a interação do usuário com o sistema, por meio de uma interface que possibilite as seguintes funções:

- apresentar os triângulos de localização que empataram até o quesito especificado na regra adicional de disparo de t_7 ;
- possibilitar que o usuário selecione apenas um dos triângulos de localização, caracterizando-se numa modificação da marca utilizada no modelo de controle;
- retornar ao modelo de controle para que seja finalizado o processo de obtenção dos pontos de localização no plano primário.

5.3.3.1 Plano secundário de localização

Para se obter o plano secundário de localização deve-se utilizar as “features” que compõem o modelo da matéria prima, com exceção do conjunto de “features” candidatas à serem usinadas em um mesmo dispositivo e daquelas selecionadas como plano primário de localização.

A seleção do plano secundário de localização segue basicamente os mesmos princípios da seleção do plano primário de localização, ou seja, este também pode ser

composto por um conjunto de planos paralelos. No caso, dois é o número máximo de planos que originam o plano secundário de localização .

O grafo PFS da figura 5.16 apresenta as atividades necessárias à obtenção do plano secundário quando este é composto por uma única "feature". Já o grafo PFS da figura 5.17 apresenta estas atividades considerando-se que o plano secundário seja formado por duas "features". Por fim, a figura 5.18 apresenta a composição das informações obtidas nos dois grafos anteriores para que seja definido o plano secundário de localização.

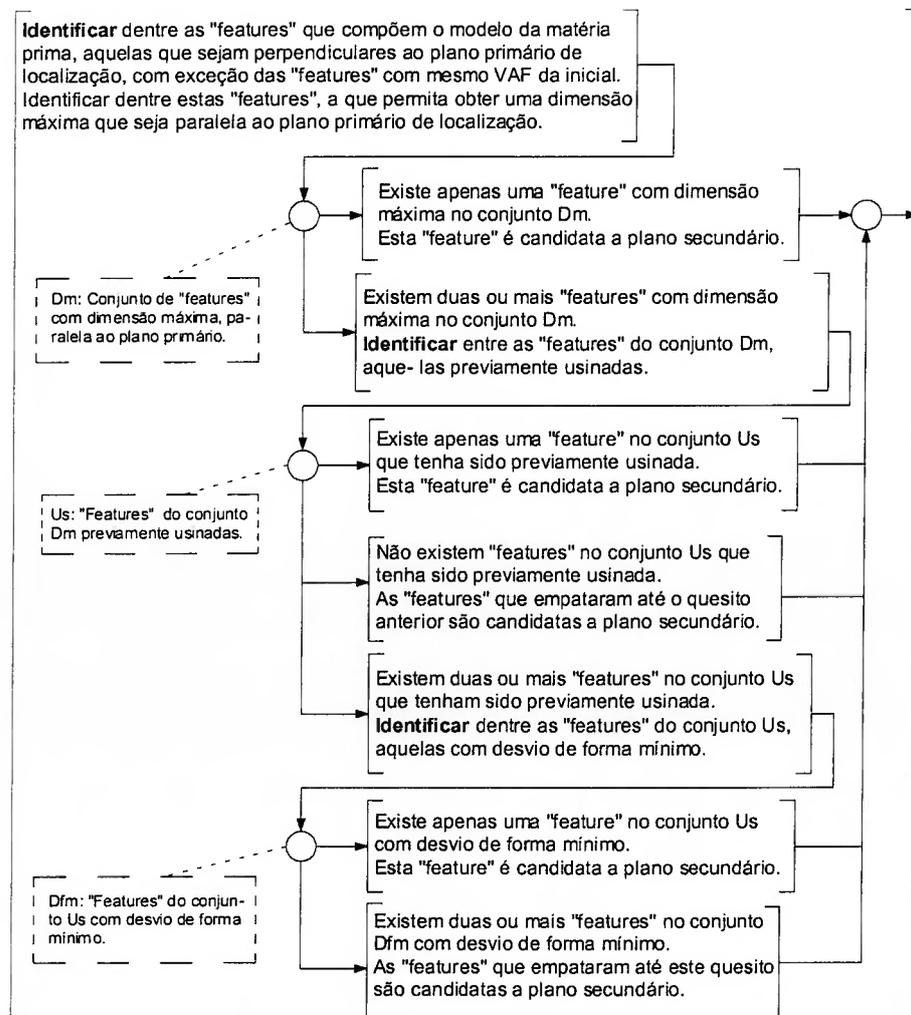


Figura 5.16 Modelo PFS para obtenção do plano secundário, considerando-se que este seja composto por um único plano.

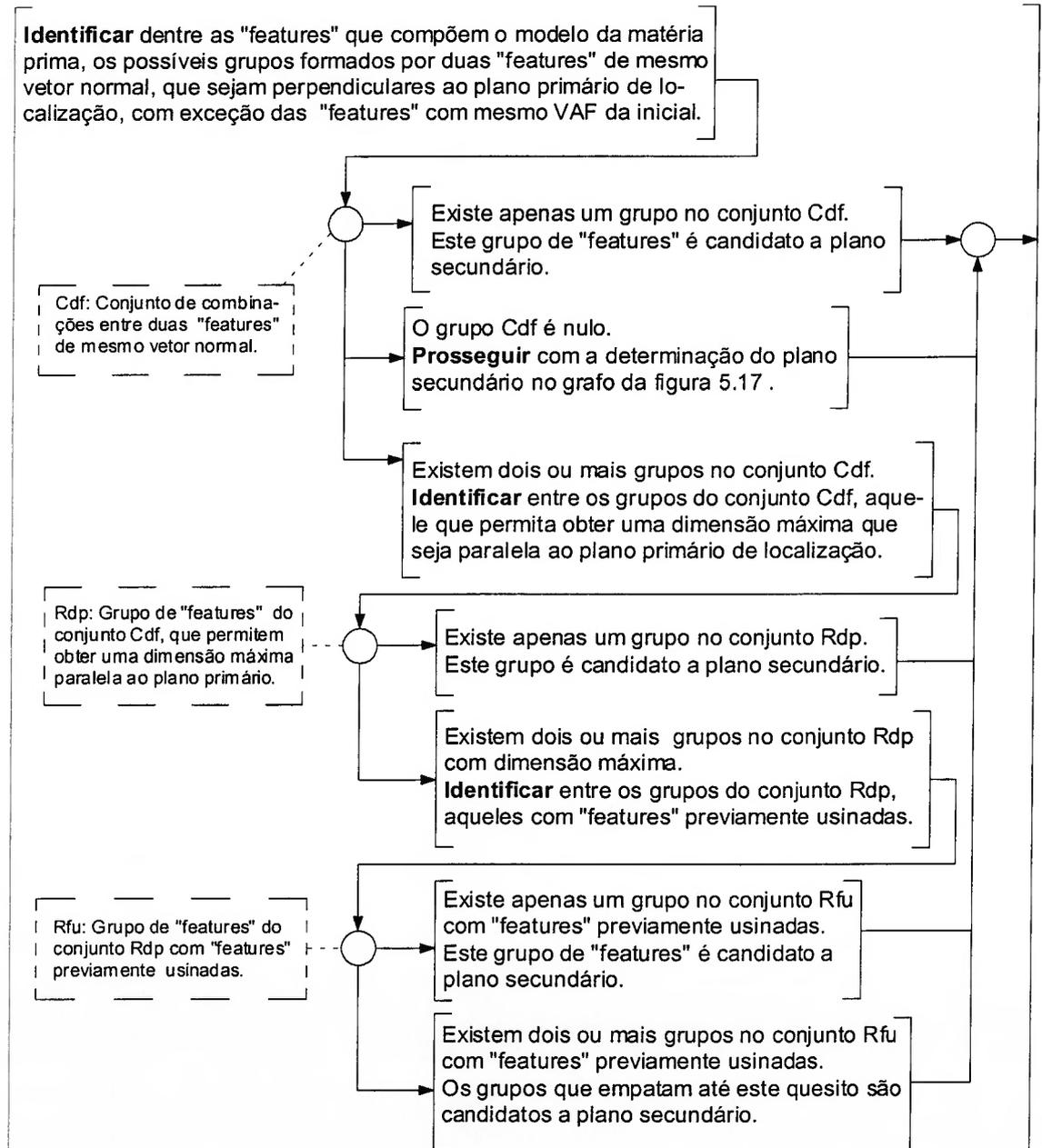


Figura 5.17 Modelo PFS para obtenção do plano secundário, considerando-se que este seja formado por dois planos.

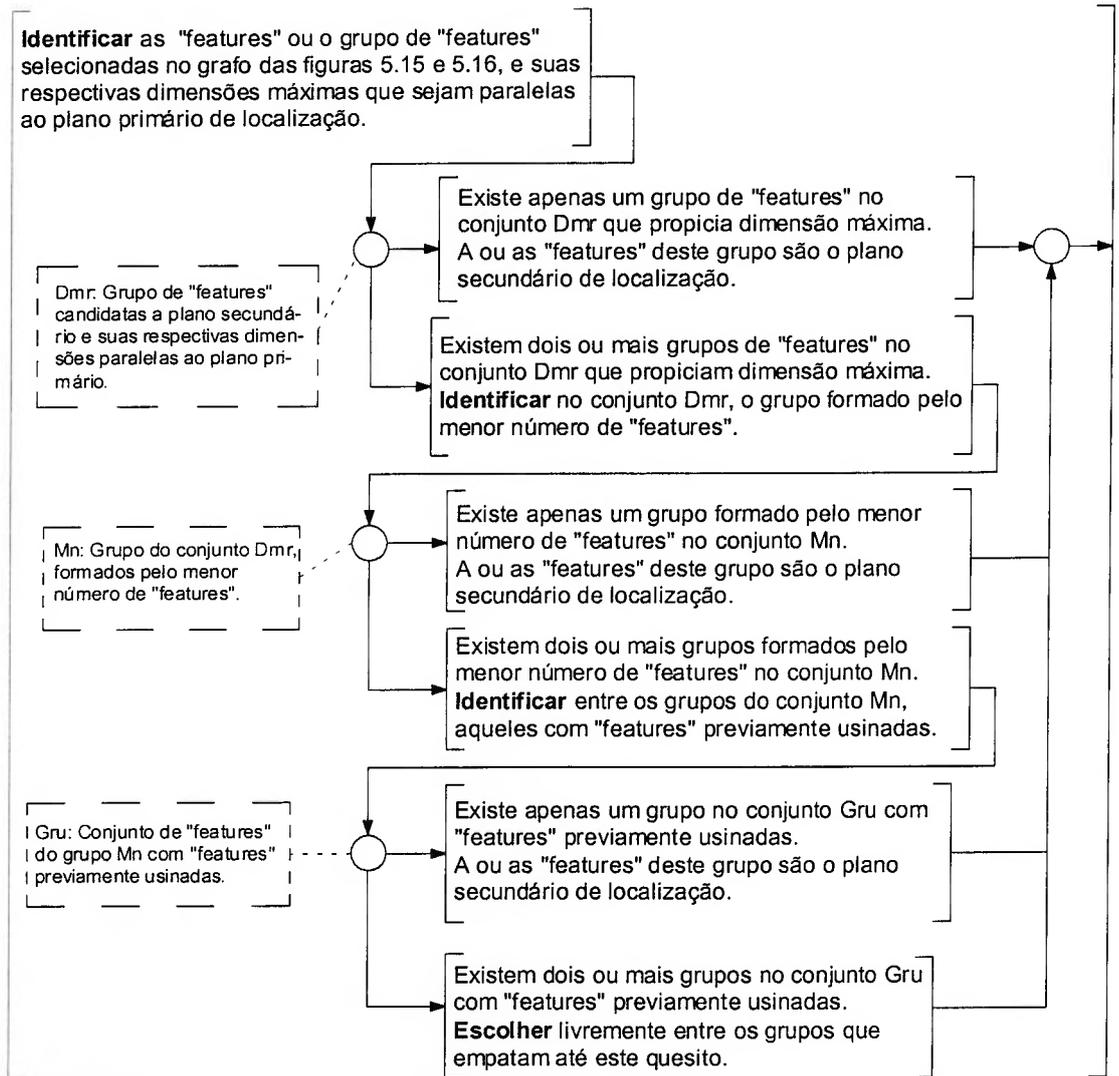
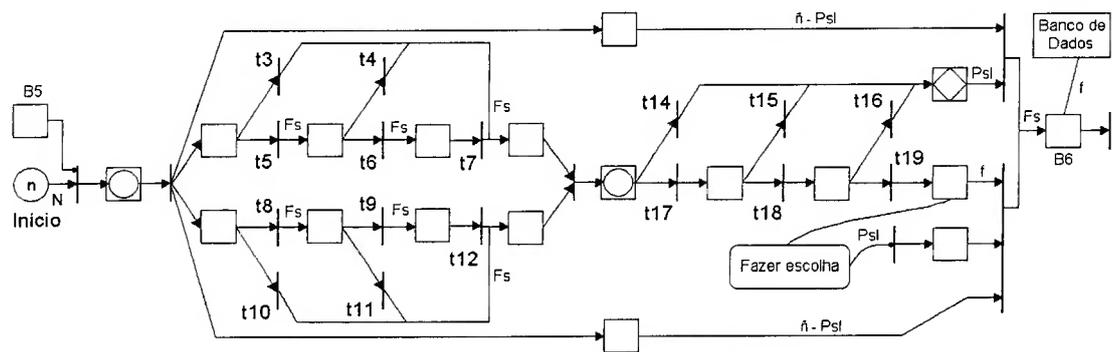


Figura 5.18 Modelo PFS para obtenção do plano secundário de localização.

5.3.3.2 Modelo E-MFG para seleção do plano secundário

Ao se substituir os elementos atividade e os elementos distribuidores das três figuras anteriores por elementos E-MFG, obtém-se a figura 5.19 que corresponde ao modelo de controle E-MFG para seleção do plano secundário de localização.



$$\text{marca } m \left(\begin{array}{l} f_1 \quad \text{Vaf}_1 \quad \text{Dm}_1 \quad \text{Us}_1 \quad \text{Df}_1 \quad \text{Cdf}_1 \quad \text{Nrs}_1 \quad \text{Psl}_1 \\ f_2 \quad \text{Vaf}_2 \quad \text{Fau}_2 \quad \text{Us}_2 \quad \text{Df}_2 \quad \text{Cdf}_2 \quad \text{Nrs}_2 \quad \text{Psl}_2 \\ f_n \quad \text{Vaf}_n \quad \text{Fau}_n \quad \text{Us}_n \quad \text{Df}_n \quad \text{Cdf}_n \quad \text{Nrs}_n \quad \text{Psl}_n \end{array} \right)$$

Os atributos são definidos como:

f_j – número identificador da “feature” $_j$.

Vaf_j – vetor de acesso a “feature” $_j$.

Dm_j – Dimensão máxima paralela ao plano primário.

Us_j – “feature” $_j$ previamente usinada.

Df_j – desvio de forma da “feature” $_j$.

Cdf_j – conjunto de combinações entre duas “features” de mesmo VAF.

Nrs_j – número de “features” que compõem o plano secundário de localização.

Psl_j – indicador de plano secundário de localização.

Fig. 5.19 Modelo de controle E-MFG para obtenção do plano secundário de localização.

As regras adicionais de disparo das transições são definidas como:

t3: se Vaf_j perpend. ao do plano primário e \neq da “f” inicial e $\text{Dm} = 1$ e $n = 1$

então dispara t3 ;

t4: se $\text{Us}_j = 1$ e $n = 1$ **então dispara t4 ;**

t5: se Vaf_j perpend. ao da “f” inicial e $\text{Dm} = 1$ e $n > 1$ **então dispara t5 ;**

t6: se $\text{Us}_j = 1$ e $n > 1$ **então dispara t6 ;**

t7: se $Df_j = \text{Mín} \{Df_j\}$ e $n \geq 1$ então dispara t7 ;

t8: se $Cdf_j = 1$ e Vaf_j paralelo ao plano primário e \neq da “f” inicial e $n > 1$ então dispara t8 ;

t9: se $Dm_j = 1$ e $n > 1$ então dispara t9 ;

t10: se $Cdf_j = 1$ e Vaf_j paralelo ao plano primário e \neq da “f” inicial e $n = 1$ então dispara t10 ;

t11: se $Dm_j = 1$ e $n = 1$ então dispara t11 ;

t12: se $Us_j = 1$ e $n \geq 1$ então dispara t12 ;

t14: se $Dm_j = \text{Máx} \{Dm_j\}$ e $n = 1$ então dispara t14 ;

t15: se $Nrs_j = \text{Mín} \{Nrs_j\}$ e $n = 1$ então dispara t15 ;

t16: se $Us_j = 1$ e $n = 1$ então dispara t16 ;

t17: se $Dm_j = \text{Máx} \{Dm_j\}$ e $n > 1$ então dispara t17 ;

t18: se $Nrs_j = \text{Mín} \{Nrs_j\}$ e $n > 1$ então dispara t18 ;

t19: se $Us_j = 1$ e $n > 1$ então dispara t19 ;

A filtragem seletiva denominada F_s permite a transmissão da linha cujo atributo possibilita o disparo da transição imediatamente anterior.

Os atributos da marca m descritos na figura 5.19 podem conter valores positivos maiores ou iguais a zero, sendo que atributos com valor zero significa a inexistência da informação.

A letra n presente nas regras adicionais de disparo das transições representa o número de linhas da matriz de atributos que empatam em relação a um determinado quesito.

Os “box” são definidos como:

- *Box Início* - contém as marcas referentes às “features” da peça.

- Box controlador – atualiza o atributo *Psl* , de 0 para 1, na linha que possibilite o disparo das transições *t14*, *t15* ou *t16*.
- Box *B5* - armazena a marca com a seleção do plano secundário de localização. Esta marca é composta apenas pelo atributo que identifica a ou as “features” definidas como plano secundário de localização, devido a filtragem seletiva do arco orientado e esta informação é transmitida ao banco de dados do sistema.

O disparo da transição *t19* se dá quando houver indefinição quanto a definição do plano secundário de localização. A marca é então enviada a uma entidade externa onde é executada a tarefa “Fazer escolha”. Esta tarefa corresponde a interação do usuário com o sistema, por meio de uma interface que possibilite as seguintes funções:

- apresentar o conjunto de “features” que empataram até o quesito especificado na regra adicional de disparo de *t19*;
- possibilitar que o usuário selecione apenas um dos conjuntos, caracterizando-se numa modificação da marca utilizada no modelo de controle;
- retornar ao modelo de controle para que seja finalizado o processo de obtenção do plano secundário de localização.

5.3.4.1 Pontos de localização no plano secundário

Uma vez definido o plano secundário de localização, deve-se determinar dois pontos neste plano, onde são posicionados os elementos de localização.

Estes pontos devem ser posicionados de forma a proporcionar distância máxima entre si e também devem estar o mais próximo possível da região sujeita a usinagem. Espera-se com isso, minimizar as deformações provocadas pelas forças de corte e sujeição da peça, mantendo-a dentro das tolerâncias de forma e posição especificadas.

O grafo PFS da figura 5.20 apresenta o processo de obtenção dos pontos de localização no plano secundário, com suas atividades e inter-relações.

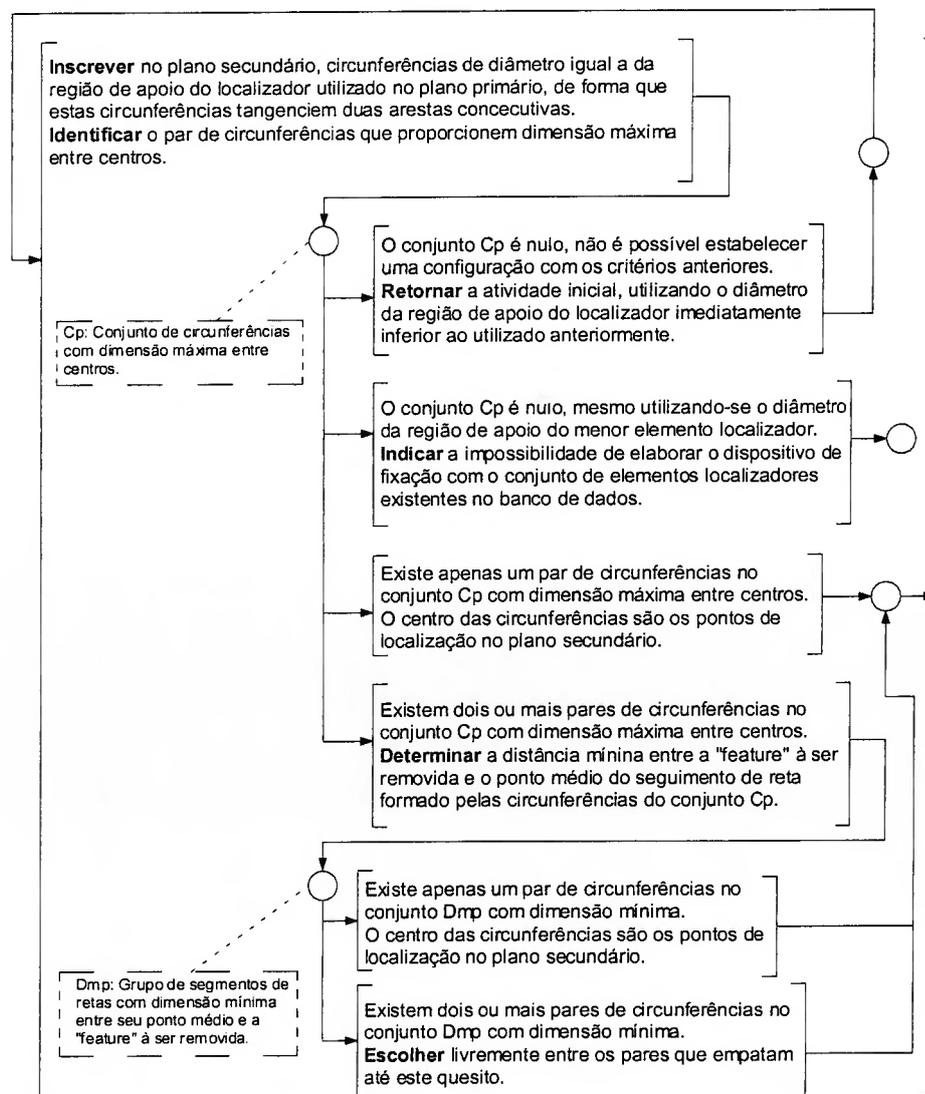
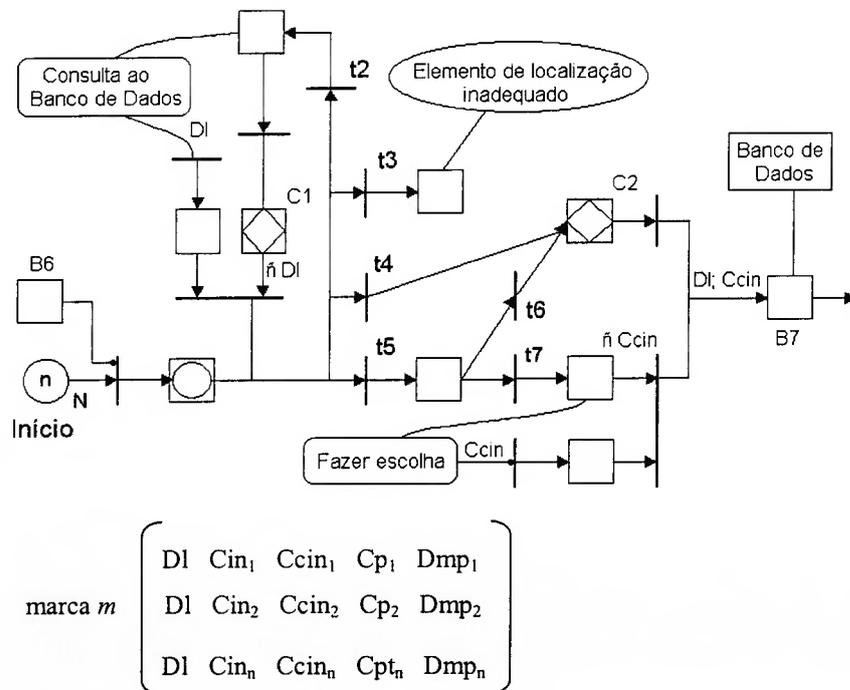


Figura 5.20 Modelo PFS para determinação dos pontos de localização no plano secundário.

5.3.4.2 Modelo E-MFG para determinação de pontos de localização no plano secundário

Substituindo-se progressivamente os elementos atividade e os elementos distribuidores do grafo PFS da figura 5.20 por elementos E-MFG, obtêm-se o modelo de controle para obtenção dos pontos de localização no plano secundário, conforme figura 5.21 .



Os atributos são definidos como:

Dl – diâmetro da região de apoio do elemento localizador.

$Ccin_j$ – indicador da existência de circunferências inscritas no plano secundário de localização.

$Ccin_j$ – coordenadas dos centros das circunferências inscritas no plano secundário de localização.

Cp_j – dimensão do segmento de reta formado pelos centros das circunferências.

Dmp_j – distância mínima entre o ponto médio dos segmentos de retas e a “feature” a ser usinada.

Figura 5.21 Modelo E-MFG para determinação dos pontos de localização no plano secundário.

As regras adicionais de disparo das transições são definidas como:

t2: se $C_{in_j} = 0$ então dispara t2 ;

t3: se $C_{p_j} = \text{Máx} \{C_{p_j}\}$ e $n = 1$ então dispara t3 ;

t4: se $C_{p_j} = \text{Máx} \{C_{p_j}\}$ e $n > 1$ então dispara t4 ;

t5: se $D_{mp_j} = \text{Mín} \{D_{mp_j}\}$ e $n = 1$ então dispara t5 ;

t6: se $D_{mp_j} = \text{Mín} \{D_{mp_j}\}$ e $n > 1$ então dispara t6 ;

Os atributos da marca m descritos na figura 5.21 podem conter valores positivos maiores ou iguais a zero, sendo que um atributo com valor zero significa a inexistência da informação.

A letra n presente nas regras adicionais de disparo das transições representa o número de linhas da matriz de atributos que empatam em relação a um determinado quesito.

Os “box” são definidos como:

- Box *Início* - contém marcas referentes ao conjunto de circunferências inscritas no plano secundário de localização.
- Box agrupador - representa a operação de composição das marcas em uma matriz de atributos com número de linhas correspondente ao número de pares de circunferências inscritas no plano secundário.
- Box controlador C1 – atualiza a marca com relação aos atributos dependentes de D1.
- Box controlador C2 – atualiza a marca mantendo apenas a linha que proporciona o disparo das transições t3 e t5.

- Box 6 - armazena a marca com a seleção do elemento localizador e suas coordenadas e também transmite estas informações ao bando de dados.

O disparo da transição $t6$ se dá quando houver indefinição quanto ao par de pontos de localização. A marca é então enviada a uma entidade externa onde é executada a tarefa “Fazer escolha”. Esta tarefa corresponde a interação do usuário com o sistema, por meio de uma interface que possibilite as seguintes funções:

- apresentar os pares de pontos de localização que empataram até o quesito especificado na regra adicional de disparo de $t6$;
- possibilitar que o usuário selecione apenas um dos pares de pontos de localização, caracterizando-se numa modificação da marca utilizada no modelo de controle;
- retornar ao modelo de controle para que seja finalizado o processo de obtenção dos pontos de localização no plano secundário.

5.3.5.1 Obtenção do plano terciário de localização

De forma análoga a utilizada na determinação dos planos primário e secundário de localização, na obtenção do plano terciário utiliza-se informações provenientes das “features” que compõem o modelo da matéria prima, com exceção das “features” candidatas à serem usinadas em um mesmo dispositivo e daquelas selecionadas como planos primário e secundário de localização.

Como no plano terciário será posicionado apenas um elemento de localização, este deve ser constituído por uma única “feature”.

Desta forma, apresenta-se no grafo PFS da figura 5.22 as atividades necessárias à obtenção do plano terciário de localização.

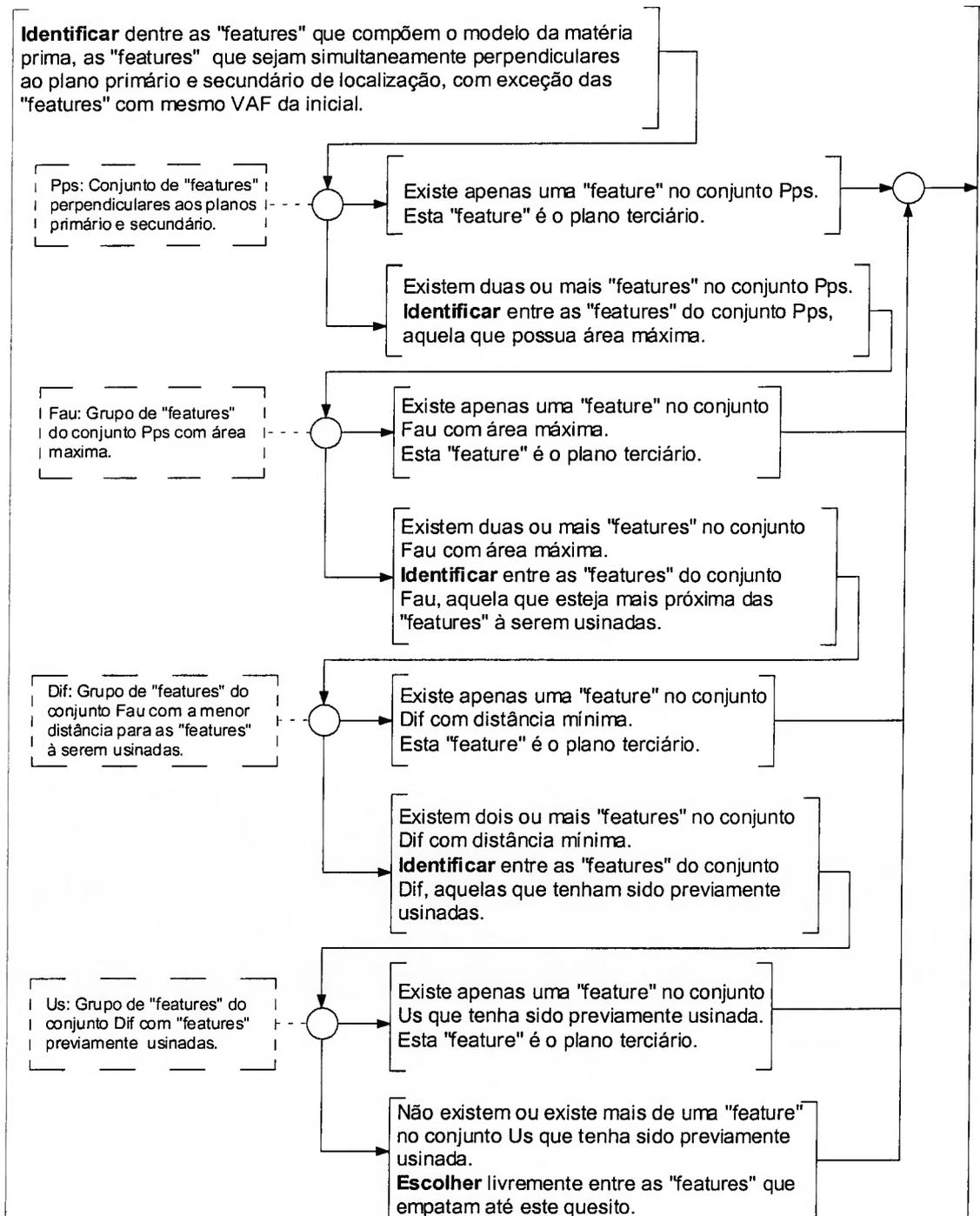


Figura 5.22 Modelo PFS para obtenção do plano terciário de localização.

5.3.5.2 Modelo E-MFG para seleção do plano terciário

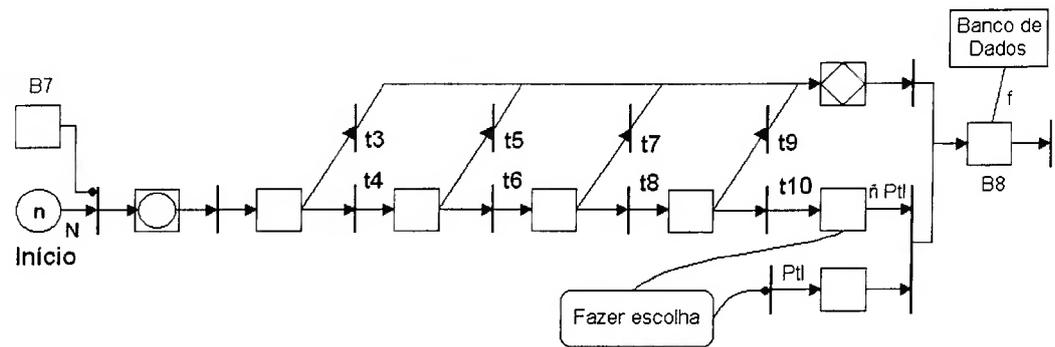
Utilizando-se a metodologia E-MFG / PFS , substituímos de forma progressiva os elementos atividade e distribuidor da figura 5.22 por elementos E-MFG, obtêm-se assim, o modelo de controle E-MFG para obtenção do plano terciário, conforme figura 5.23 a seguir.

Os atributos da marca m descritos na figura 5.23 podem conter valores positivos maiores ou iguais a zero, sendo que um atributo com valor zero significa a inexistência da informação.

A letra n presente nas regras adicionais de disparo das transições representa o número de linhas da matriz de atributos que empatam em relação a um determinado quesito.

Os “box” são definidos como:

- Box *Início* - contém as marcas referentes às “features” da peça.
- Box controlador – atualiza o atributo P_{tl} , de 0 para 1, na linha que possibilite o disparo das transições t_3 , t_5 , t_7 ou t_9 .
- Box B_7 - armazena a marca com a seleção do plano terciário de localização. Esta marca é composta apenas pelo atributo que identifica a ou as “features” definidas como plano terciário de localização, devido a filtragem seletiva do arco orientado e esta informação é transmitida ao banco de dados do sistema.



$$\text{marca } m \begin{pmatrix} f_1 & Pps_1 & Fau_1 & Dif_1 & Us_1 & Ptl_1 \\ f_2 & Pps_2 & Fau_2 & Dif_2 & Us_2 & Ptl_2 \\ f_n & Pps_n & Fau_n & Dif_n & Us_n & Ptl_n \end{pmatrix}$$

Os atributos são definidos como:

f_j – número identificador da “feature” $_j$.

Pps_j – “feature” $_j$ com VAF diferente da inicial e perpendicular aos planos primário e secundário.

Fau_j – área da “feature” $_j$.

Dif_j – distância para as “features” à serem usinadas.

Us_j – “feature” previamente usinada.

Ptl_j – indicador de plano terciário de localização.

Fig. 5.23 Modelo de controle E-MFG para obtenção do plano terciário de localização.

As regras adicionais de disparo das transições são definidas como:

t3: se $Pps_j = 1$ e $n = 1$ então dispara t3 ;

t4: se $Pps_j = 1$ e $n > 1$ então dispara t4 ;

t5: se $Fau_j = \text{Máx} \{Fau_j\}$ e $n = 1$ então dispara t5 ;

t6: se $Fau_j = \text{Máx} \{Fau_j\}$ e $n > 1$ então dispara t6 ;

t7: se $Dif_j = \text{Mín} \{Dif_j\}$ e $n = 1$ então dispara t7 ;

t8: se $Dif_j = \text{Mín} \{Dif_j\}$ e $n > 1$ então dispara t8 ;

t9: se $U_{s_j} = 1$ e $n = 1$ então dispara t9 ;

t10: se $U_s = 1$ e $n > 1$ ou $U_s = 0$ então dispara t10 .

O disparo da transição *t10* se dá quando houver indefinição quanto a definição do plano terciário de localização. A marca é então enviada a uma entidade externa onde é executada a tarefa “Fazer escolha”. Esta tarefa corresponde a interação do usuário com o sistema, por meio de uma interface que possibilite as seguintes funções:

- apresentar o conjunto de “features” que empataram até o quesito especificado na regra adicional de disparo de *t10*;
- possibilitar que o usuário selecione apenas uma das “features”, caracterizando-se numa modificação da marca utilizada no modelo de controle;
- retornar ao modelo de controle para que seja finalizado o processo de obtenção do plano terciário de localização.

5.3.6.1 Pontos de localização no plano terciário

Definido o plano terciário de localização, deve-se determinar neste apenas um ponto onde será posicionado um elemento de localização, completando-se assim, a aplicação do princípio 3-2-1 de localização.

Este ponto deve ser posicionado, dependendo de sua posição em relação as “features” à serem usinadas, de forma a propiciar o equilíbrio estático da peça ou minimizar os efeitos provocados pelas forças de corte e sujeição.

As atividades necessárias à obtenção deste ponto de localização no plano terciário são descritas no grafo PFS da figura 5.24 .

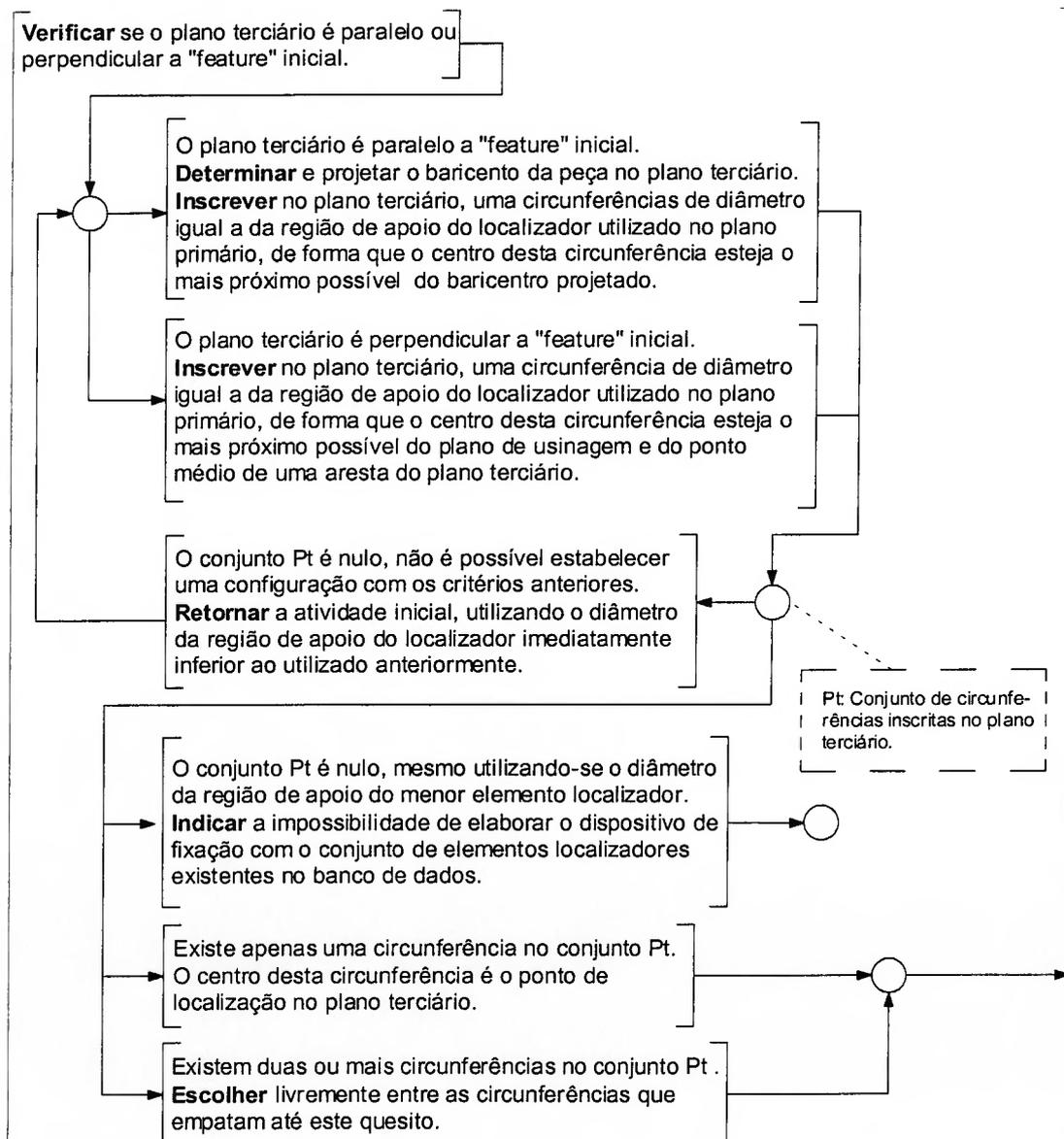
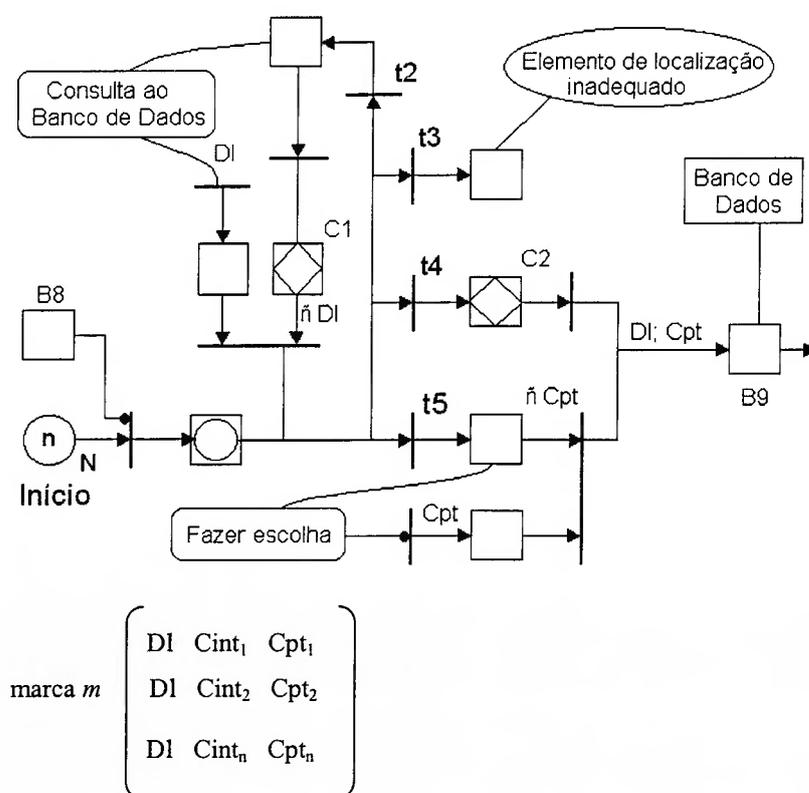


Figura 5.24 Modelo PFS para determinação do ponto de localização no plano terciário.

5.3.6.2 Modelo E-MFG para determinação do ponto de localização no plano terciário

Substituindo-se progressivamente os elementos atividade e os elementos distribuidores do grafo PFS da figura 5.24 por elementos E-MFG, obtêm-se o modelo de controle para obtenção do ponto de localização no plano terciário, conforme figura 5.25, a seguir.



Os atributos são definidos como:

DI – diâmetro da região de apoio do elemento localizador.

Cint_j – indicador da existência de circunferências inscritas no plano terciário de localização.

Cpt_j – coordenadas dos centros das circunferências inscritas no plano terciário de localização.

Figura 5.25 Modelo E-MFG para determinação do ponto de localização no plano terciário.

As regras adicionais de disparo das transições são definidas como:

t2: se $Cint_j = 0$ então dispara t2 ;

t3: se $Dl = \text{Mín} \{ \text{Mín} \{ Dl_n \} \}$ e $Cint_j = 0$ então dispara t3 ;

t4: se $Cint_j = 1$ e $n = 1$ então dispara t4 ;

t5: se $Cint_j = 1$ e $n > 1$ então dispara t5 ;

Os atributos da marca m descritos na figura 5.25 podem conter valores positivos maiores ou iguais a zero, sendo que um atributo com valor zero significa a inexistência da informação.

A letra n presente nas regras adicionais de disparo das transições representa o número de linhas da matriz de atributos que empatam em relação a um determinado quesito.

Os “box” são definidos como:

- Box *Início* - contém marcas referentes ao conjunto de circunferências inscritas no plano terciário de localização.
- Box agrupador - representa a operação de composição das marcas em uma matriz de atributos com número de linhas correspondente ao número de circunferências inscritas no plano terciário.
- Box controlador C1 – atualiza a marca com relação aos atributos dependentes de Dl.
- Box controlador C2 – atualiza a marca mantendo apenas a linha que proporciona o disparo das transições t3.
- Box B9 - armazena a marca com a seleção do elemento localizador e suas coordenadas e também transmite estas informações ao bando de dados.

O disparo da transição $t5$ se dá quando houver indefinição quanto ao ponto de localização. A marca é então enviada a uma entidade externa onde é executada a tarefa “Fazer escolha”. Esta tarefa corresponde a interação do usuário com o sistema, por meio de uma interface que possibilite as seguintes funções:

- apresentar os pontos de localização que empataram até o quesito especificado na regra adicional de disparo de $t4$;
- possibilitar que o usuário selecione apenas um dos pontos de localização, caracterizando-se numa modificação da marca utilizada no modelo de controle;
- retornar ao modelo de controle para que seja finalizado o processo de obtenção do ponto de localização no plano terciário.

5.4 Seleção de elementos auxiliares de localização

Para completar o sistema de localização da peça devemos definir os componentes que serão incorporados aos elementos de localização especificados, os quais denominamos elementos auxiliares de localização. Assim, conhecendo-se as características dos planos de localização e dos elementos localizadores, pode-se selecionar o conjunto de elementos auxiliares de localização, dentro de um conjunto de elementos que estejam disponíveis no banco de dados.

Os componentes que fazem parte do conjunto de elementos auxiliares considerados neste trabalho são:

- calços de altura fixa;
- calços de altura regulável;

- suportes universais;

Estes componentes devem necessariamente pertencer a uma mesma família dimensional, a qual é definida pelo elemento localizador selecionado na etapa anterior. A utilização de uma família dimensional, garante o intercâmbio de montagem entre estes componentes facilitando, desta forma, o trabalho de montagem física do dispositivo.

Antes de se iniciar a descrição do processo de obtenção dos elementos auxiliares de localização, faz-se necessário apresentar definições e considerações gerais que auxiliem neste processo, nestes termos temos:

- localizador de base – é um elemento localizador posicionado em um plano a partir do qual são tomadas referências dimensionais positivas na direção do centro da peça, em relação às “features” que constituem o plano de localização. Esta condição pode ser observada na figura 5.26, onde um localizador posicionado no ponto “A” satisfaz estas condições.
- considerando-se que um dos planos de localização deve ser, necessariamente, paralelo ao conjunto de “features” a serem usinadas, neste plano deve-se posicionar um elemento de localização que coincide com a furação da base, não sendo necessário montá-lo com auxílio de suporte universal. Porém, para os demais elementos de localização do dispositivo de fixação, isto não é possível. Sendo assim, devem ser montados com auxílio de suporte universal.

A, B, C - Pontos de localização

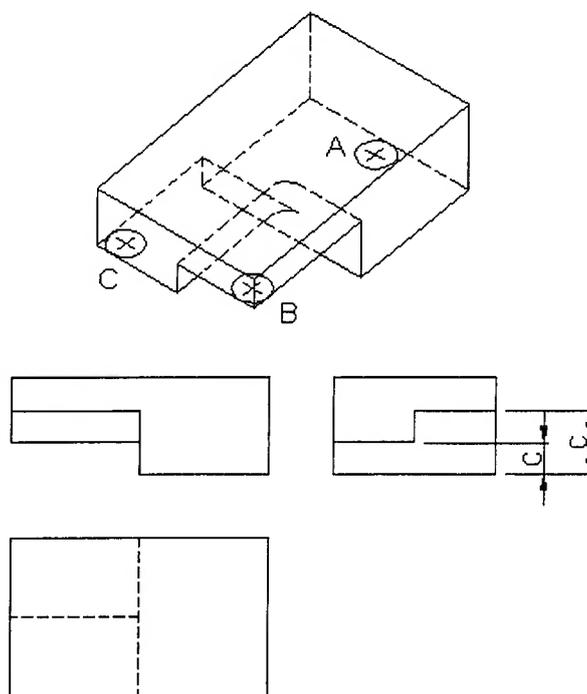


Figura 5.26 Exemplo de pontos de localização e referências dimensionais.

5.4.1.1 Seleção de calços e suportes

Uma vez definida a família dimensional dos elementos de localização e partindo-se das premissas apresentadas anteriormente, resta determinar a necessidade de elementos auxiliares, bem como suas dimensões e quantidade de forma a atender às cotas existentes entre as “features” que constituem os planos de localização.

Os grafos PFS das figuras 5.27 apresenta o processo de obtenção de suportes universais e calços de altura regulável para as diversas configurações e disposições dos planos de localização.

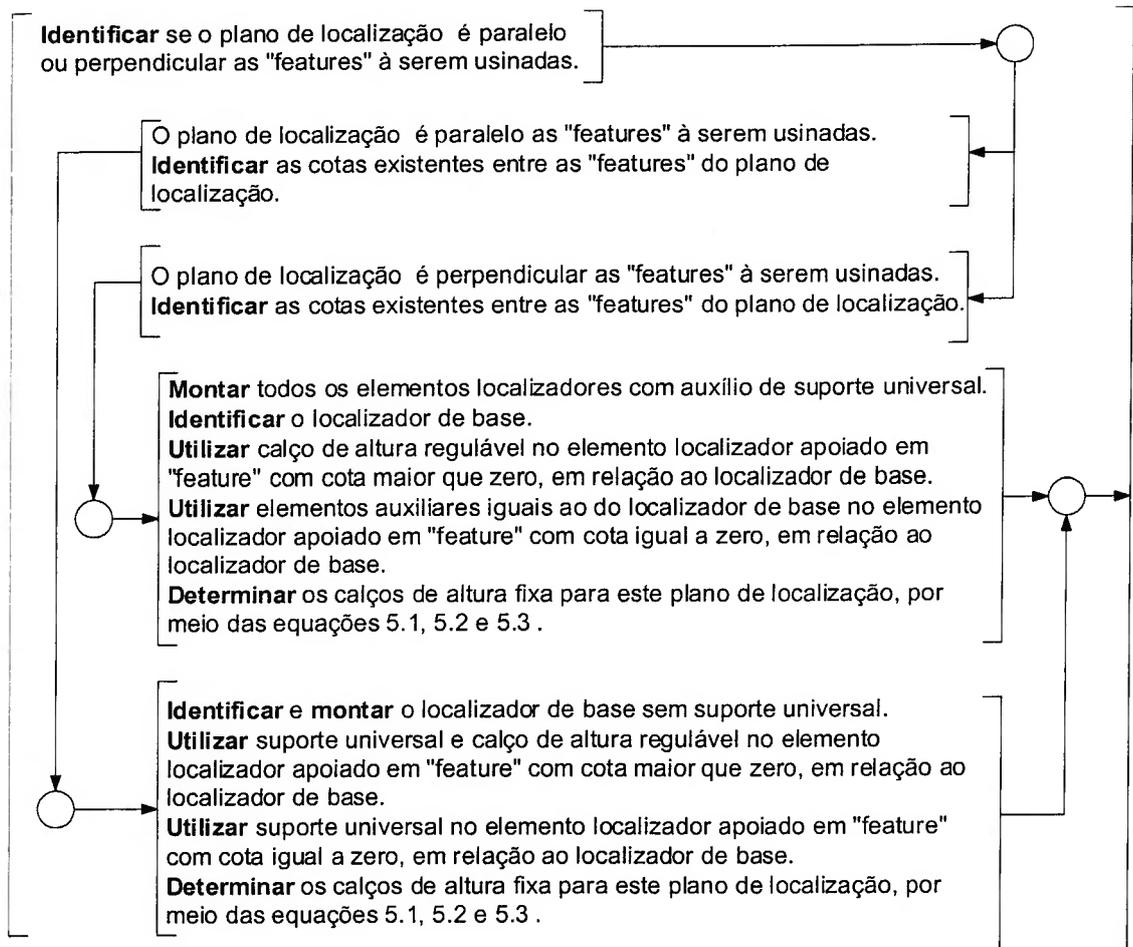
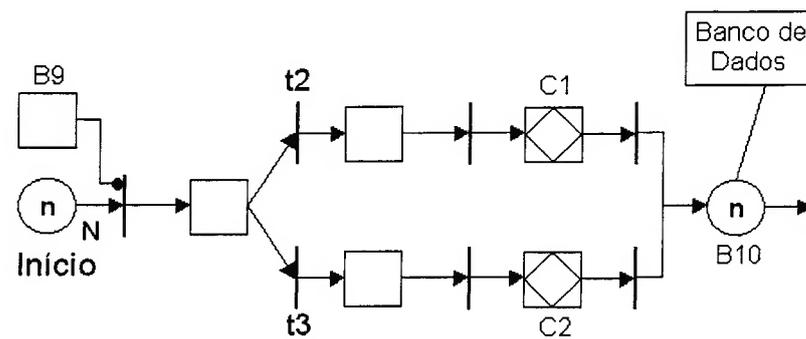


Figura 5.27 Modelo PFS para determinação de calços e suportes.

5.4.1.2 Modelo E-MFG para determinação de calços e suportes

Substituindo-se progressivamente os elementos atividade e os elementos distribuidores do grafo PFS da figura 5.27 por elementos E-MFG, obtêm-se o modelo de controle para obtenção de calços de altura regulável e suportes universais, conforme figura 5.28 .



$$\text{marca } m \begin{pmatrix} f_1 & Vpl_1 & Lb_1 & Cf_1 & Sp_1 & Car_1 \\ f_2 & Vpl_2 & Lb_2 & Cf_2 & Sp_2 & Car_2 \\ f_3 & Vpl_3 & Lb_3 & Cf_3 & Sp_3 & Car_3 \end{pmatrix}$$

Os atributos são definidos como:

f_j – número identificador da “feature” $_j$ de acordo com a numeração definida na matriz de remoção.

Vpl_j – vetor de acesso a “feature” $_j$ do plano de localização.

Lb_j - indicação da existência de um localizador de base em contato com a “feature”.

Cf_j – cota em relação ao localizador de base.

Sp_j – indicação da existência de suporte universal.

Car_j – indicação da existência de calço de altura regulável.

Figura 5.28 Modelo E-MFG para determinação de calços e suportes.

As regras adicionais de disparo das transições são definidas como:

t2: se Vpl é paralelo ao VAF da “feature” inicial **então dispara t2** ;

t3: se Vpl é perpendicular ao VAF da “feature” inicial **então dispara t3** ;

Os atributos da marca m descritos na figura 5.28 podem conter valores positivos maiores ou iguais a zero, sendo que um atributo com valor zero significa a inexistência da informação.

Os “box” são definidos como:

- Box *Início* - contém marcas individuais referentes aos planos de localização, sendo cada linha da marca constituída por atributos de uma única “feature” do plano de localização.
- Box controlador C1 – modifica a marca da seguinte forma:
 se $Lb = 0$ e $Cf > 0$ então $Sp = 1$ e $Car = 1$
 se $Lb = 0$ e $Cf = 0$ então $Sp = 1$ e $Car = 0$
 se $Lb > 0$ então $Sp = 0$ e $Car = 0$
- Box controlador C2 – modifica a marca da seguinte forma:
 Se $Lb = 0$ e $Cf > 0$ então $Sp = 1$ e $Car = 1$
 Se $Lb = 0$ e $Cf = 0$ então $Sp = 1$ e $Car = 0$
 Se $Lb > 0$ então $Sp = 1$ e $Car = 0$
- Box *B10* - armazena a marca com a definição de calços de altura regulável e suportes universais utilizados nos planos de localização e também transmite estas informações ao bando de dados.

5.4.2 Localizador de base

A princípio, os elementos que podem vir a ser montados com o localizador de base são os calços de altura fixa e suportes universais. A figura 5.29 apresenta um modelo de montagem com suas principais cotas, onde o localizador de base é montado diretamente sobre a base do dispositivo. Porém, para que seja determinada a necessidade de calços neste localizador, deve-se aplicar a seguinte expressão:

$$C + ESB \geq ES + H \quad (5.1)$$

onde:

C – menor cota existente entre o localizador de base e os demais planos;

ESB - espessura do suporte universal utilizado no localizador de base;

ES – espessura do suporte universal;

H – menor altura do calço de altura regulável.

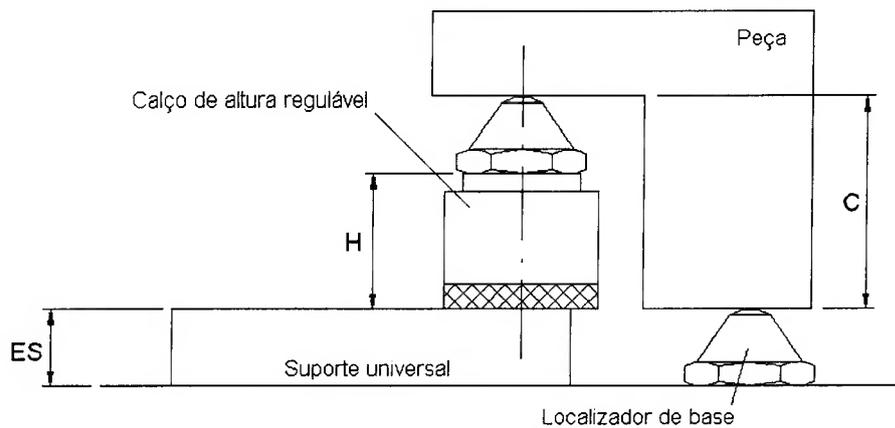


Figura 5.29 Disposição de elementos localizadores.

Caso a expressão 5.1 seja satisfeita, não será necessário utilizar calço no localizador de base, caso contrário haverá necessidade de se determinar um ou mais calços.

5.4.3 Seleção de calços para o localizador de base

Caso seja constatada a necessidade de calços para o localizador de base, sua espessura e quantidade podem ser obtidas por meio da expressão 5.2 . A figura 5.30 apresenta um exemplo com dois calços neste localizador.

$$(n \cdot EB + C + ESB) - (ES + H) \geq 0 \text{ e } \leq K \quad (5.2)$$

onde:

n – número de calços de altura fixa utilizado no localizador de base;

EB – espessura do calço de altura fixa utilizado no localizador de base;

C – menor cota existente entre o localizador de base e os demais planos;

ESB - espessura do suporte universal utilizado no localizador de base;

ES – espessura do suporte universal;

H – menor altura do calço de altura regulável;

K – regulagem máxima permitida pelo calço de altura regulável.

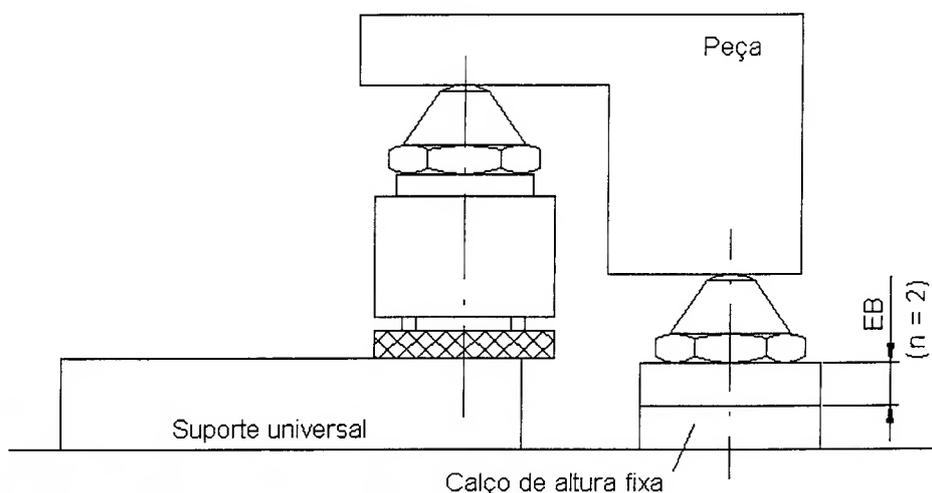


Figura 5.30 Disposição de calços no localizador de base.

Tendo-se por princípio utilizar a menor quantidade possível de calços, o que confere ao sistema maior estabilidade e rigidez, deve-se aplicar a expressão 5.2 conforme procedimento apresentado na figura 5.30, a seguir:

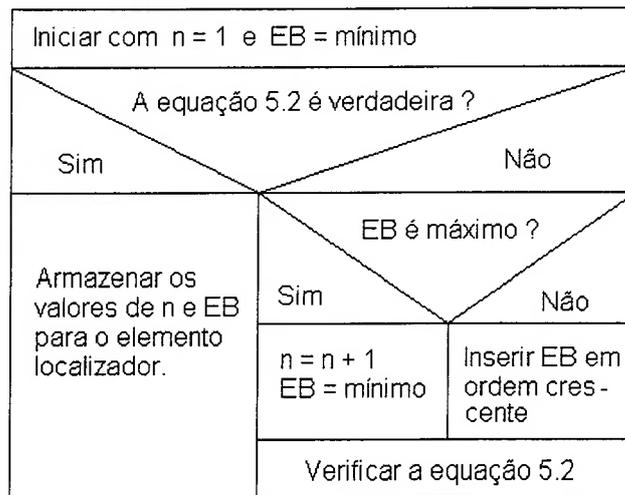


Figura 5.31 Diagrama para aplicação da equação 5.2 .

5.4.4 Seleção de calços para os demais localizadores

Uma vez concluída a análise de elementos auxiliares para o localizador de base, resta determinar por meio da equação 5.3, a quantidade e a espessura dos calços para os demais elementos do plano de localização. A figura 5.32 apresenta um exemplo de montagem com dois calços de altura fixa montados juntamente com um calço de altura regulável.

$$(N \cdot E + ES + H + K) - (n \cdot EB + C + ESB) \geq 0 \text{ e } \leq K \quad (5.3)$$

onde:

N – número de calços;

E – espessura do calço de altura fixa;

ES – espessura do suporte universal;

H – menor altura do calço de altura regulável;

K – regulagem máxima permitida pelo calço de altura regulável.

- n – número de calços de altura fixa utilizados no localizador de base;
- EB – espessura do calço de altura fixa utilizado no localizador de base,;
- C – cota entre o plano em questão e o localizador de base.
- ESB - espessura do suporte universal utilizado no localizador de base;

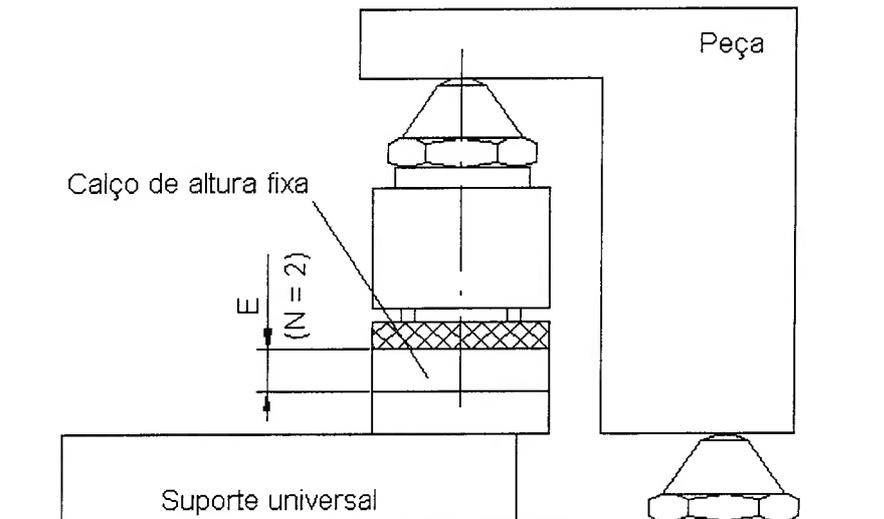


Figura 5.32 Disposição de calços nos os demais localizadores.

O mesmo princípio utilizado na seleção de calços para o localizador de base se repetem neste item, sendo que a manipulação da expressão 5.3 obedece ao procedimento apresentado na figura 5.33, a seguir:

Caso o plano de localização seja formado por uma única “feature”, este se constitui no caso particular onde deve-se utilizar calço no localizador de base de espessura igual a espessura do suporte universal.

Pode-se também acrescentar suportes universais e/ou calços, desde que possuam a mesma espessura, em todos os localizadores para qualquer configuração do plano de localização.

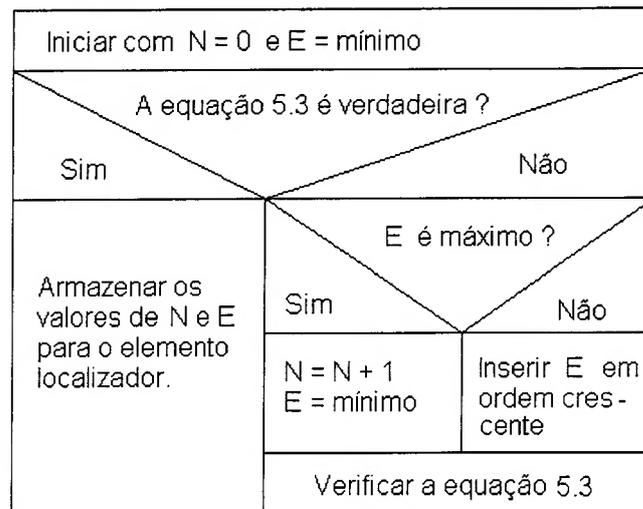


Figura 5.33 Diagrama para aplicação da equação 5.3 .

5.5 Seleção de ferramentas e parâmetros de corte

Uma vez definido o conjunto de “features” à serem usinadas num mesmo dispositivo e a configuração básica do sistema de localização, há condições de se definir o conjunto de ferramentas de corte que permitam obter cada uma das “features” do produto.

O desenvolvimento desta atividade, neste ponto do planejamento do dispositivo de fixação, também possibilita que seja avaliado o diâmetro máximo admissível da ferramenta de corte que possibilite desenvolver um sistema livre de interferência desta com os componentes do dispositivo, constituindo-se portanto, numa pré seleção do grupo de ferramentas de corte disponíveis

Conforme discutido no capítulo 2, a determinação de ferramentas e parâmetros de corte, bem como a trajetória das ferramentas durante o processo de usinagem, causa influência direta na produtividade e qualidade do produto. E como a

determinação sistemática de ferramentas e demais parâmetros foge aos propósitos do presente trabalho, limitamo-nos a indicar os trabalhos de CARPENTER; MAROPOULOS (2000) e RIBEIRO; COPPINI (1999) como potenciais soluções para a atividade em questão.

Sendo assim, utilizando-se dos trabalhos referenciados acima obtemos os seguintes dados:

- Conjunto de ferramentas de corte que permitam obter cada uma das “features” do produto.
- Parâmetros de corte para as ferramentas selecionadas.
- Trajetória de corte para cada “feature”.

Obtidas e armazenadas estas informações, pode-se agora dar prosseguimento às atividades do planejamento da fixação.

5.6 Planos e elementos de sujeição

Dando-se continuidade a descrição das atividades básicas do planejamento de fixação descrito na figura 5.2, apresentamos a seguir o refinamento da atividade “Seleção de planos e elementos de sujeição”.

A descrição ora apresentada baseia-se na existência de forças de atrito estático decorrentes do contato entre os elementos de sujeição e localização com o produto. Com esta consideração, não é necessário restringir todos os graus de liberdade da peça o que proporciona a vantagem de se utilizar menor número de elementos de sujeição.

Na estrutura idealizada, procura-se por planos que sejam paralelos aos planos de localização, onde se possa posicionar os elementos de sujeição. A figura 5.34 descreve a estrutura básica desta atividade, com a apresentação de duas novas atividades que são desenvolvidas a seguir.

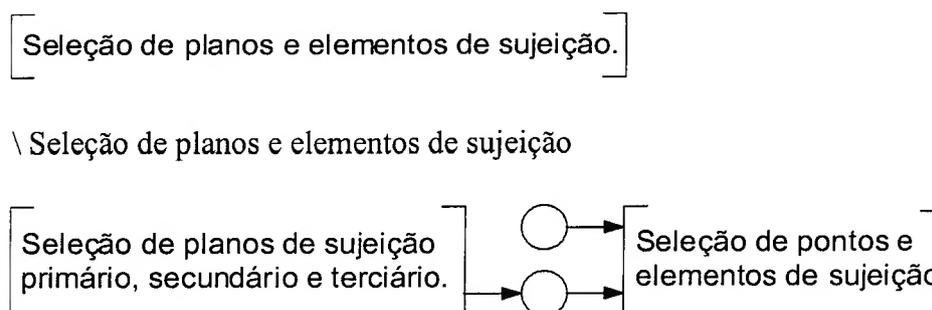


Figura 5.34 Refinamento da atividade “Seleção de planos e elementos de sujeição”.

5.6.1.1 Planos de sujeição

Tomando-se por princípio básico que os elementos de sujeição devem estar alinhados com os elementos de localização ou o mais próximo possível deste alinhamento, para que se possa com isso minimizar as deformações da peça provocados pela força de sujeição, admitimos que os planos de sujeição devem necessariamente ser paralelos aos planos de localização.

Sendo assim, os planos de sujeição são formados por um conjunto de “features” do modelo da matéria prima, cujo vetor de acesso a “feature” (VAF) possua a mesma direção porém de sentido contrário ao VAF dos planos de localização primário, secundário e terciário.

Desta forma, obtemos apenas três planos de sujeição, visto que um sistema de coordenadas ortonormal (figura 5.35) possibilita a obtenção de seis vetores, sendo dois a dois colineares. No entanto, um destes vetores corresponde ao VAF das “features” a serem usinadas as quais não devem ser utilizadas como plano de sujeição, restando apenas dois planos para serem utilizados na sujeição da peça.

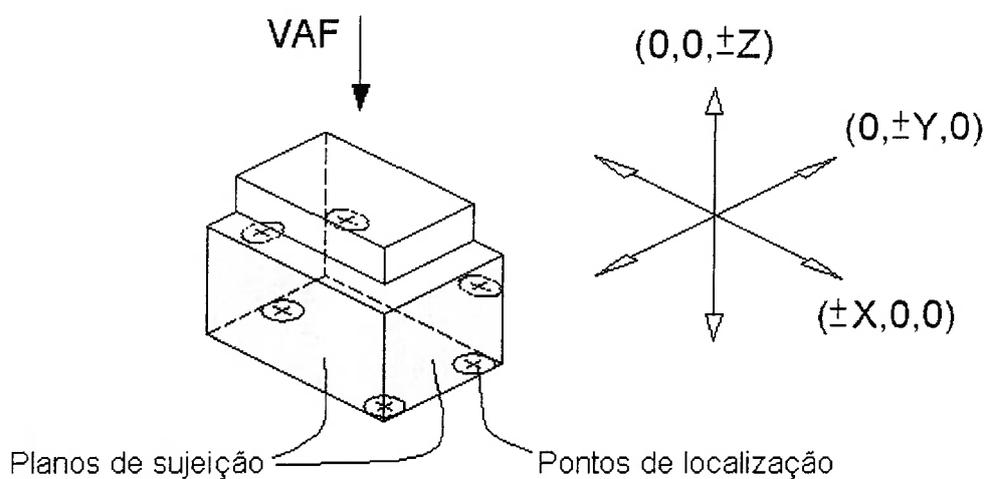


Figura 5.35 Sistema de coordenadas ortonormal e os dois planos de sujeição.

O grafo PFS da figura 5.36 apresenta as atividades necessárias à obtenção dos planos de sujeição primário , secundário e terciário.

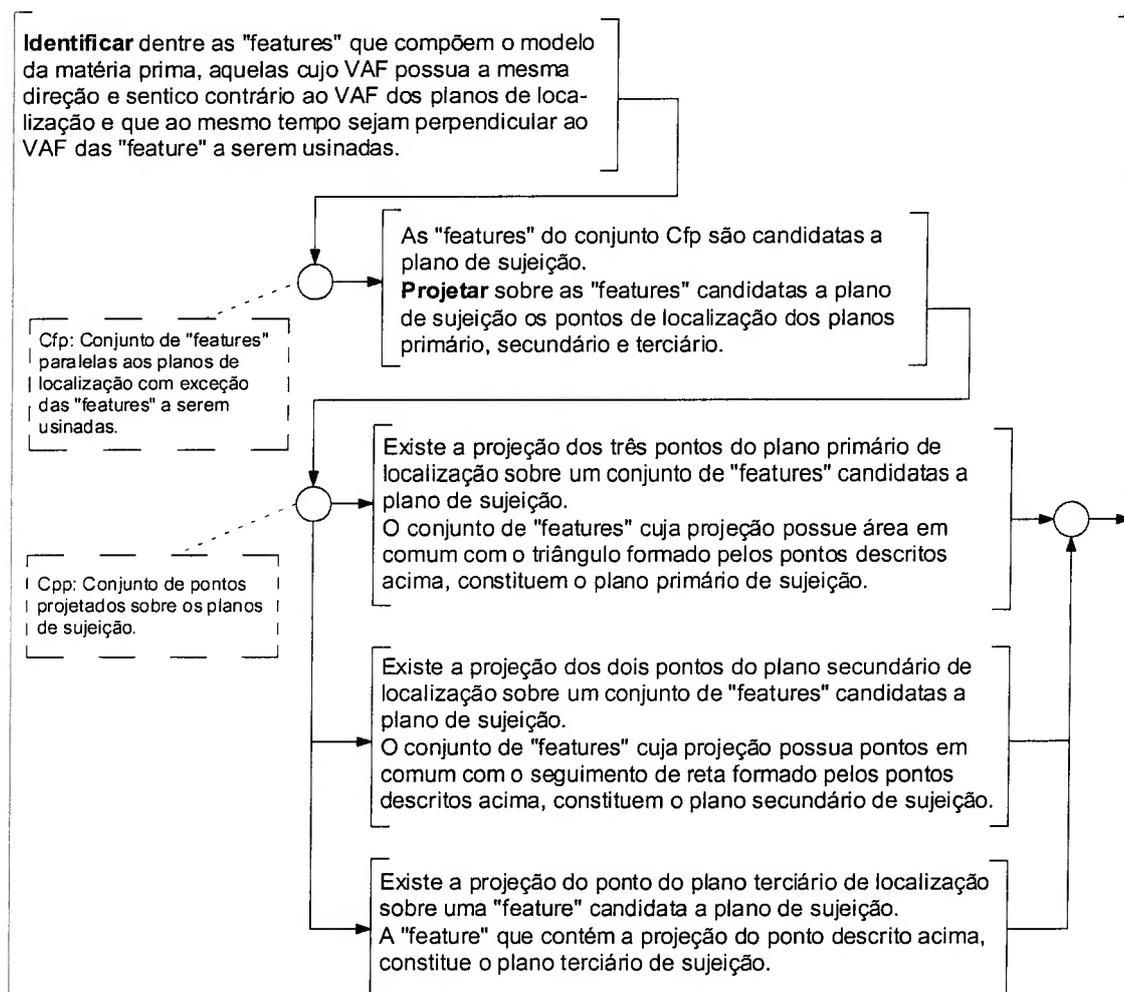
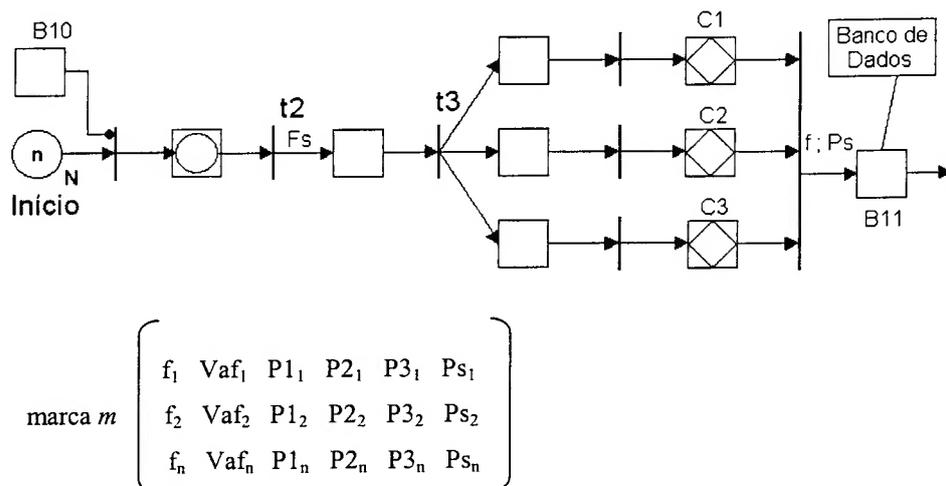


Figura 5.36 Modelo PFS para obtenção dos planos de sujeição.

5.6.1.2 Modelo E-MFG para seleção dos planos de sujeição

Refinando-se progressivamente os elementos atividade e os elementos distribuidores do modelo PFS da figura 5.36 por elementos E-MFG, obtêm-se o modelo de controle para obtenção dos plano de sujeição, conforme figura 5.37 .



Os atributos são definidos como:

- f_j – número identificador da “feature”; de acordo com a numeração definida na matriz de remoção.
- Vaf_j – vetor de acesso a “feature”.
- $P1_j$ – “feature” com projeção em comum com o plano primário de localização.
- $P2_j$ – “feature” com projeção em comum com o plano secundário de localização.
- $P3_j$ – “feature” com projeção em comum com o plano terciário de localização.
- Ps_j – indicação de plano de sujeição.

Figura 5.37 Modelo de controle para obtenção planos de sujeição.

As regras adicionais de disparo das transições são definidas como:

- t2: se Vaf_j é paralelo ao Vaf de um plano de localização então dispara t2 ;
- t3: se $\text{Vaf}_j \neq$ do VAF da “feature” inicial então dispara t3 ;

A filtragem seletiva denominada F_s permite a transmissão da linha cujo atributo possibilita o disparo da transição imediatamente anterior.

Os “box” são definidos como:

- Box *Início* - contém as marcas referentes às “features” da peça.
- Box agrupador - representam a operação de composição das marcas do “box” início, em uma matriz de atributos onde cada linha apresenta informações de uma única “feature”.

- Box controlador C1 – atualiza o atributo Ps da seguinte forma:

Se $P1 = 1$ então $Ps = 1$

- Box controlador C2 – atualiza o atributo Ps da seguinte forma:

Se $P2 = 1$ então $Ps = 2$

- Box controlador C3 – atualiza o atributo Ps da seguinte forma:

Se $P3 = 1$ então $Ps = 3$

- Box *B11* - armazena a marca com a definição dos planos de sujeição e também transmite estas informações ao bando de dados.

5.6.2.1 Pontos e elementos de sujeição

Os elementos de sujeição considerados no desenvolvimento deste trabalho são do tipo pneumático ou hidráulico, visto que se pretende desenvolver dispositivos que possibilitem a troca da peça no menor tempo possível, porém também podem ser utilizados elementos de sujeição manuais.

Como já comentado no item anterior, os elementos de sujeição devem ser posicionados o mais próximo possível da projeção dos pontos de localização, para se minimizar as deformações provocadas pelas forças de sujeição. No entanto, devido a geometria e dimensões deste elementos bem como do produto, podem ocorrer interferências, o que acarretaria na impossibilidade de se construir um dispositivo apropriado.

Outro ponto importante à ser considerado é a determinação da força de sujeição mínima que garanta a imobilidade da peça. Conforme apresentado no item anterior, esta força pode ser distribuída entre dois planos de sujeição. Portanto, deve-

se procurar uma combinação entre as possíveis configurações dos elementos de sujeição que atendam a imobilidade da peça e que gerem deformação mínima.

Vários trabalhos tem sido desenvolvidos com o intuito de se determinar a força de sujeição, como descrito no capítulo 2 , e como esta determinação foge aos propósitos deste trabalho consideramos como potenciais soluções para esta questão os trabalhos apresentados por DE METER et al. (2001) e JENG (1995). Assim, considerando-se conhecidas estas forças, resta determinar sua distribuição, o que é realizado por meio dos grafos PFS das figuras 5.38 , 5.39 e 5.40.

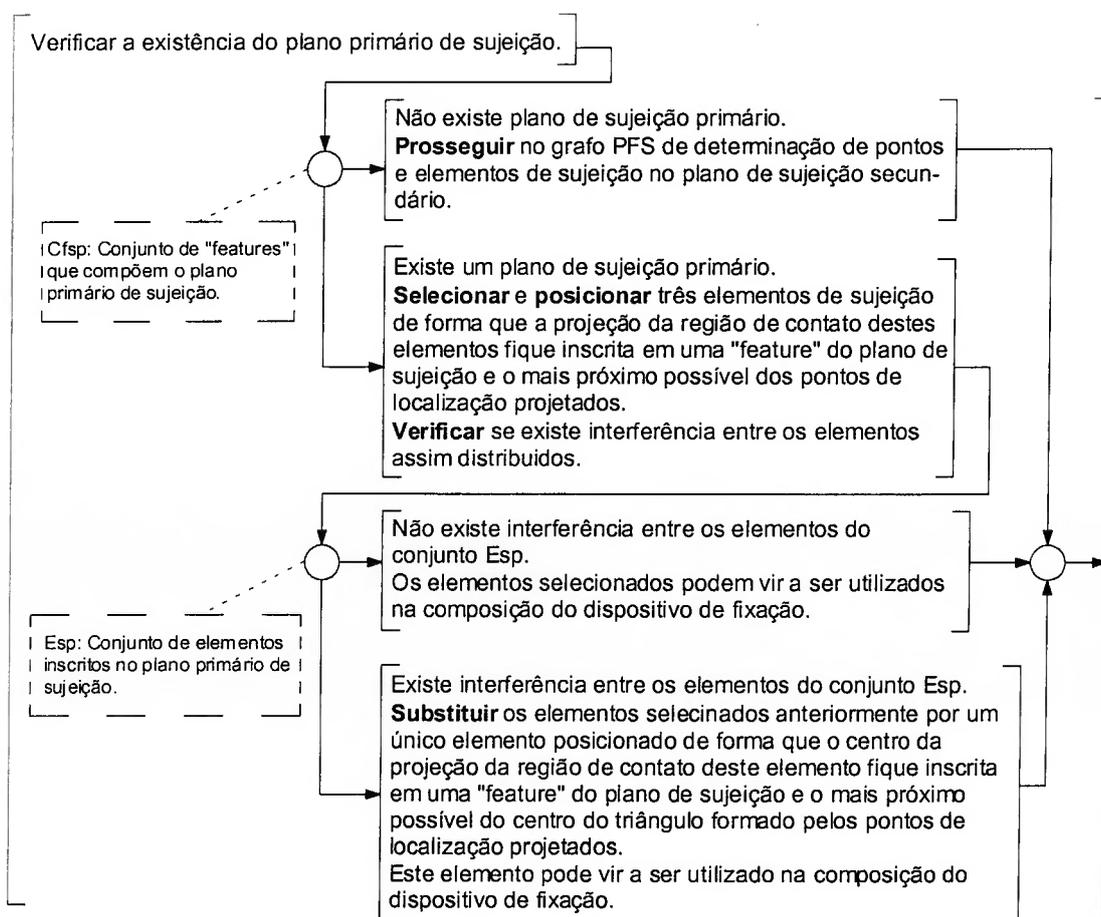


Figura 5.38 Modelo PFS para obtenção dos elementos e pontos de contato no plano primário de sujeição.

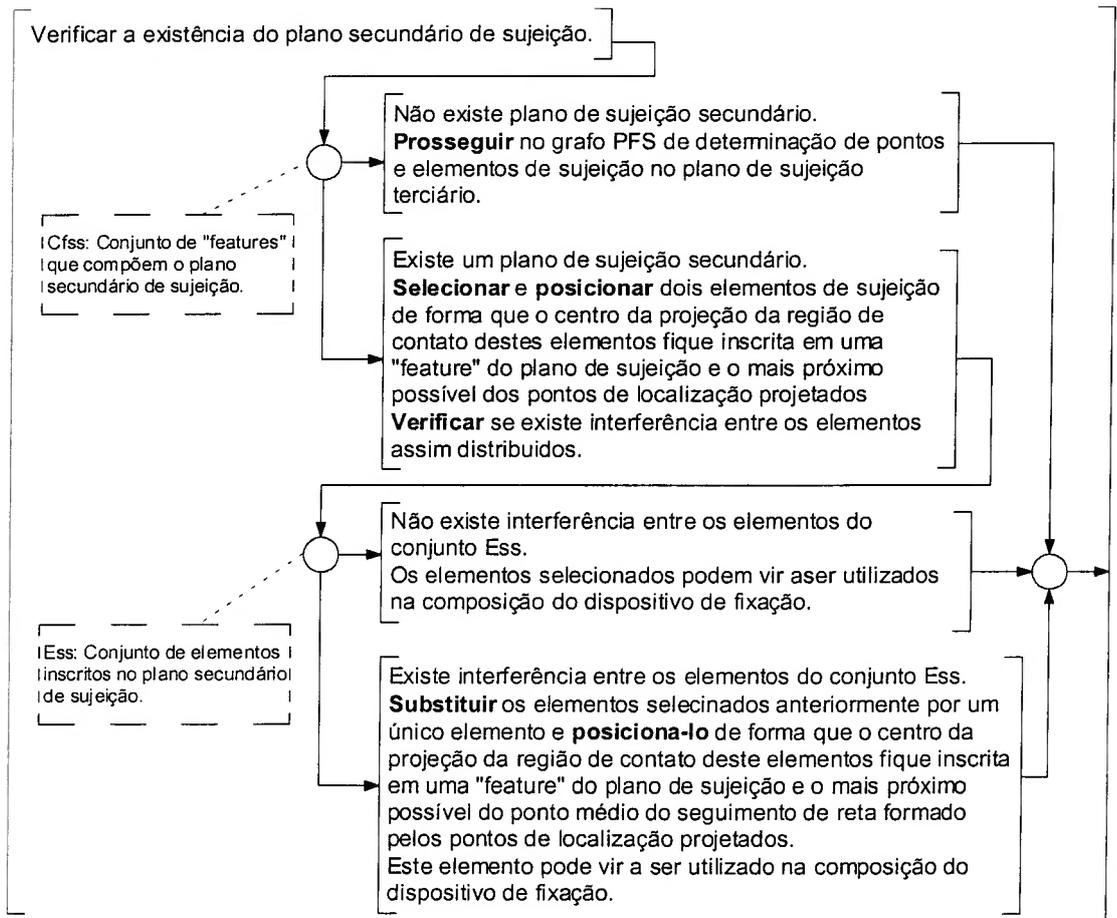


Figura 5.39 Modelo PFS para obtenção dos elementos e pontos de contato no plano secundário de sujeição.

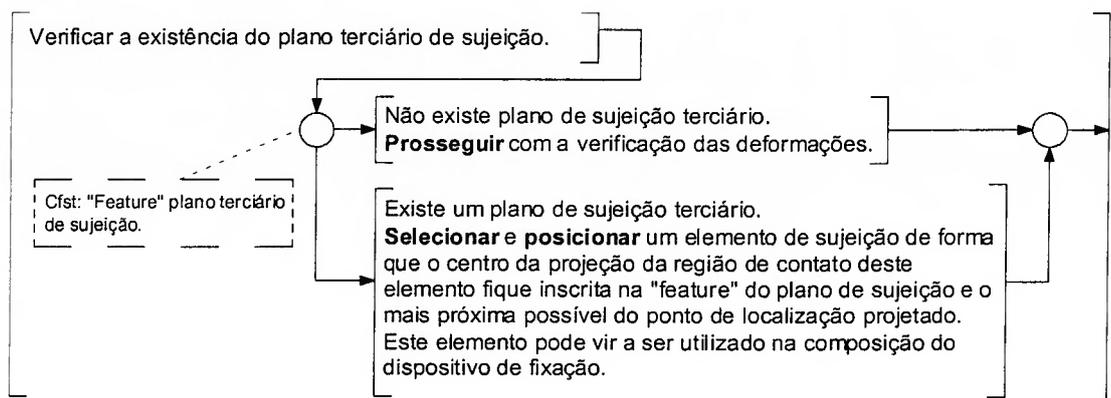
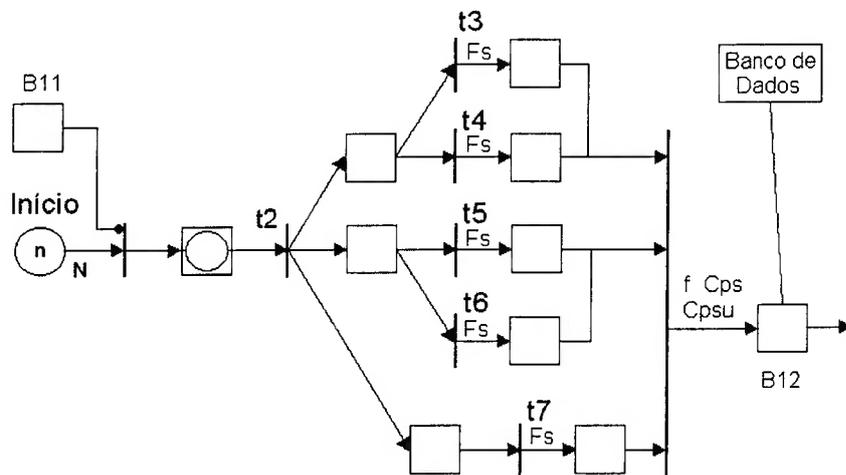


Figura 5.40 Modelo PFS para obtenção dos elementos e pontos de contato no plano terciário de sujeição.

5.6.2.2 Modelo E-MFG para seleção de pontos e elementos de sujeição

As atividades relacionadas nos três grafos PFS anteriores se desenvolvem em paralelo, o que nos permite representá-las em um único grafo E-MFG. Assim, na figura 5.41 apresentamos o modelo de controle E-MFG para seleção de pontos e elementos de sujeição.



$$\text{marca } m \begin{pmatrix} f_1 & Ps_1 & Cps_1 & Is_1 & Cpsu_1 \\ f_2 & Ps_2 & Cps_2 & Is_2 & Cpsu_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ f_n & Ps_n & Cps_n & Is_n & Cpsu_n \end{pmatrix}$$

Os atributos são definidos como:

f_j – número identificador da “feature” $_j$ de acordo com a numeração definida na matriz de remoção.

Ps_j – indicação de plano de sujeição.

Cps_j – Coordenada do ponto de contato para múltiplos elementos de sujeição.

Is_j – indicação de interferência entre elementos de sujeição.

$Cpsu_j$ - Coordenada do ponto de contato para elemento de sujeição unitário.

Figura 5.41 Modelo de controle para obtenção de pontos e elementos de sujeição.

As regras adicionais de disparo das transições são definidas como:

- t2: se $P_s > 0$ então dispara t2 ;
- t3: se $P_s = 1$ e $I_s = 0$ então dispara t3 ;
- t4: se $P_s = 1$ e $I_s = 1$ então dispara t4 ;
- t5: se $P_s = 2$ e $I_s = 0$ então dispara t5 ;
- t6: se $P_s = 2$ e $I_s = 1$ então dispara t6 ;
- t7: se $P_s = 3$ então dispara t7 ;

A filtragem seletiva denominada F_s permite a transmissão da linha cujo atributo possibilita o disparo da transição imediatamente anterior.

Os “box“ são definidos como:

- Box *Início* - contém as marcas referentes às “features” da peça.
- Box agrupador - representam a operação de composição das marcas do “box” início, em uma matriz de atributos onde cada linhas apresenta informações de uma única “feature”.
- Box *B12* - armazena a marca com a definição das “features” dos planos de sujeição, coordenadas de contato e transmite estas informações ao bando de dados.

5.7 Verificação de deformações

Considerando-se conhecidas as forças de sujeição , corte e definida a disposição dos elementos de localização e sujeição, resta verificar a deformação imposta ao produto a qual não deve ser negligenciada pois esta pode vir à provocar deformações incompatíveis com as tolerâncias especificadas no projeto do produto.

A deformação pode ser determinada utilizando-se o método de elementos finitos. No entanto, assim como a determinação de ferramentas de corte e forças de sujeição, este assunto foge ao escopo deste trabalho. Sendo assim, limitamo-nos a indicar os trabalhos desenvolvidos por LI et al (1999) , WANG et al (1999) e Huang et al (2000) como potenciais soluções para se adequar o sistema ora proposta às exigências do projeto do produto.

5.8 Seleção de blocos, bases e montagem final

A seleção de blocos e base permite que todos os componentes selecionados nos itens anteriores, possam ser rigidamente ligados entre si, constituindo assim o dispositivo de fixação objetivo deste estudo e que por sua vez, este possa ser fixado à mesa de centros de usinagem ou outras máquinas ferramentas capazes de realizar operações de fresagem, tomando-se o cuidado de selecionar máquinas que permitam deslocamentos compatíveis com as dimensões do produto e seu dispositivo de fixação.

A seleção dos blocos e base inicia com o posicionamento da peça de forma que o VAF das “features” a serem usinadas tenha a mesma direção porém sentido contrário ao vetor z do sistema de referência dispositivo/máquina. Dessa forma fica determinado que o plano de localização paralelo as “features” a serem usinadas e seus respectivos elementos de localização serão apoiados sobre a base, enquanto os demais serão apoiados em blocos.

As dimensões dos blocos, ou seja, comprimento e altura, devem exceder as coordenadas dos pontos de localização, acrescidas do comprimento dos suportes

universais. De forma semelhante, deve-se selecionar uma base de fixação, tendo-se por princípio que todos os componentes que façam parte do dispositivo estejam dentro dos limites de sua área. Tanto os blocos quanto a base devem pertencer a mesma família dimensional dos elementos selecionados para o dispositivo, o que garante a montagem destes componentes.

Sendo a montagem do dispositivo uma operação puramente manual e como a seleção de blocos de apoio e base dependem da configuração dos suportes universais, os quais podem ser rotacionados em torno dos pontos de localização melhorando-se assim suas disposições, fica vinculado ao profissional encarregado da tarefa de montagem final do dispositivo a seleção destes componentes.

Como resultado da descrição do planejamento de fixação realizado até este item, obtemos dados suficientes para a elaboração de um dispositivo de fixação que permite a usinagem de um número limitado de “features” do modelo da matéria prima. Assim, caso existam outras “features” que não possam ser usinadas neste dispositivo, deve-se reiniciar o processo para se obter outro dispositivo e assim sucessivamente até que não existam mais “features” à serem usinadas.

No capítulo seguinte é apresentado um estudo de caso, para demonstrar a aplicabilidade do processo descrito.

CAPÍTULO 6

APLICAÇÃO DA ESTRUTURA PROPOSTA

Neste capítulo é apresentado um exemplo de peça à ser fixada, para assim validar os modelos apresentados no capítulo anterior e demonstrar a aplicabilidade da estrutura proposta.

Neste exemplo, a peça (figura 6.1) foi idealizada de forma que todas suas faces sejam planas e paralelas ou perpendiculares entre si, as quais admitem a existência de furos e cavidades. Estas características enquadram a peça objeto deste exemplo como peça prismática, o que possibilita sua obtenção por meio de operações de fresagem, que constitui o domínio de aplicação deste trabalho.

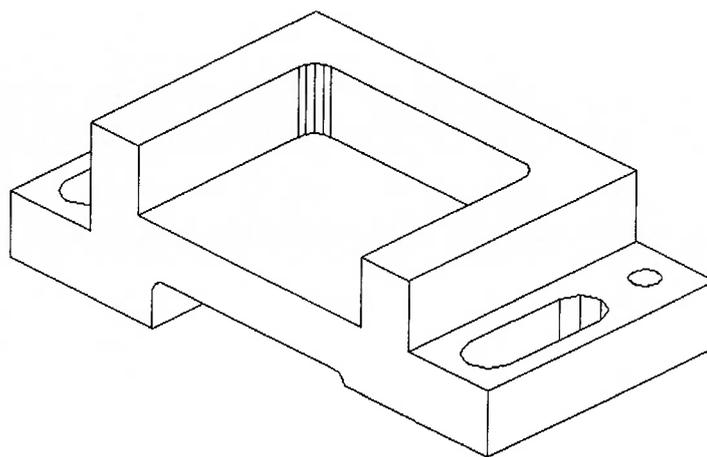
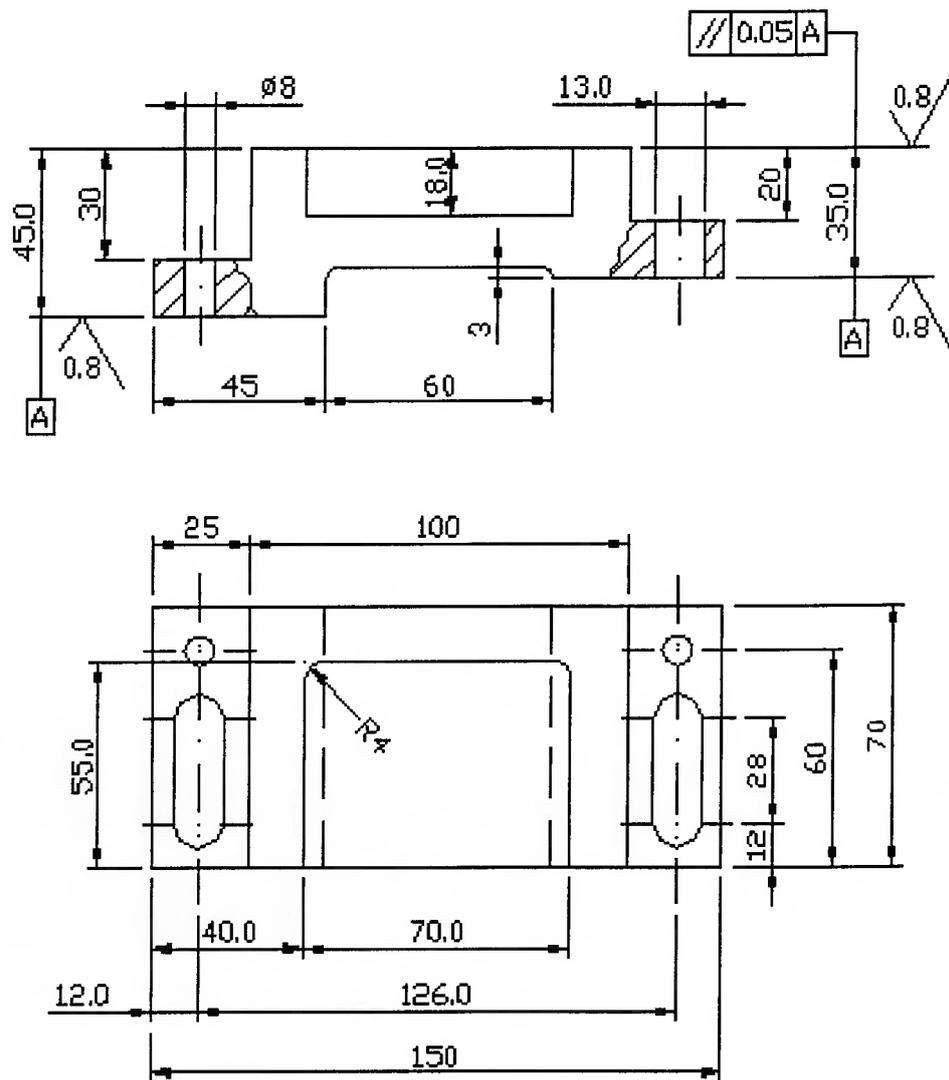


Figura 6.1 Perspectiva da peça a ser fixada.

Na figura 6.2 é apresentada a projeção ortogonal da peça, no primeiro diedro, com seus detalhes de projeto tais como geometria, dimensão, cotação funcional, tolerâncias específicas e gerais, tolerâncias de forma e posição, informações estas necessárias para o projeto de um ou mais dispositivos de fixação que possibilitem a completa usinagem da peça.



Tolerância geral ± 0.1 mm ; Rugosidade geral (Ra) 50 μ m

Figura 6.2 Projeção ortogonal da peça a ser usinada.

6.1 Matéria prima básica

Para que se possa avaliar a quantidade de material a ser removido, o que influi diretamente no custo do material, ferramentas, tempo de usinagem e demais itens ligados a estes, admitimos que a peça em questão seja obtida a partir de um lingote cuja geometria corresponde a figura 6.3, com dois milímetros de sobre metal em todas as dimensões.

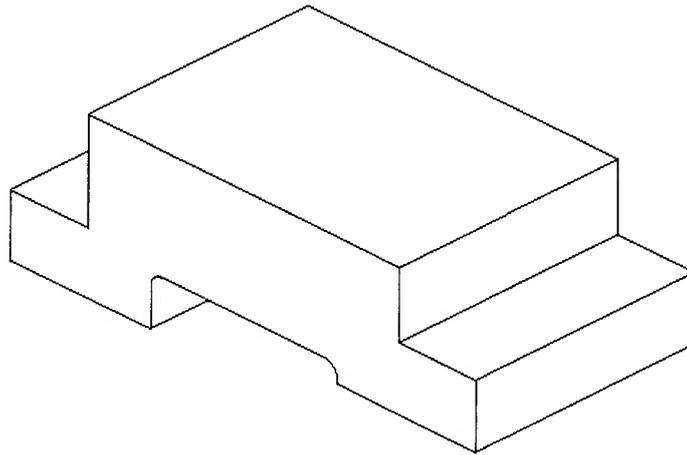


Figura 6.3 Matéria prima básica

6.2 Identificação das “features” da peça

Tomando-se a matéria prima por ponto de partida e utilizando-se o método de decomposição por volumes, apresentado no capítulo 4, podemos identificar todas as “features” que devem ser removidas a fim de se obter o produto acabado.

Assim, na figura 6.4 são apresentadas, em perspectiva, todas as “features” a serem removidas, bem como a peça acabada.

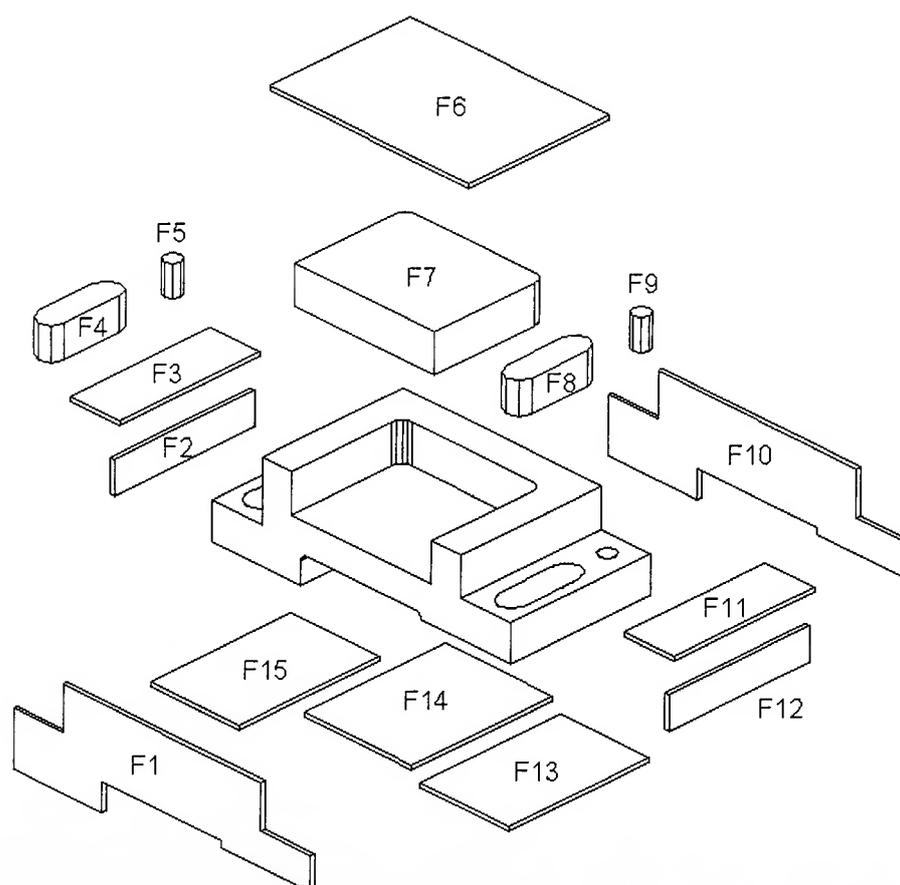


Figura 6.4 Representação das “features” a serem removidas.

6.3 Descrição geométrica das “features”

As “features” definidas na figura 6.5 podem ser geometricamente descritas utilizando-se o grupo básico de “features” para peças prismáticas apresentado no item 4.2.1 . Sendo que o agrupamento entre os tipos básicos permite obter formas geométricas compostas mais adequadas as necessidades de representação.

No caso do exemplo de aplicação deste trabalho, para que possamos representar as “features” F1, F4, F8 e F10 são agrupados um ou mais tipos básicos conforme descrito a seguir.

6.3.1 Descrição da “feature” composta F1

A “feature” F1 é composta por três “features” do tipo “face” conforme figura 6.5, definidas como F1a, F1b e F1c sendo cada uma descrita pelas tabelas 6.1, 6.2 e 6.3, respectivamente.

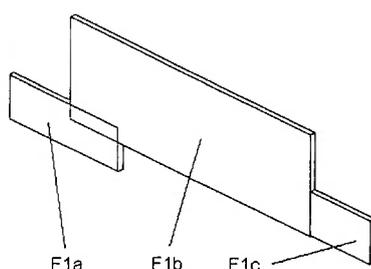
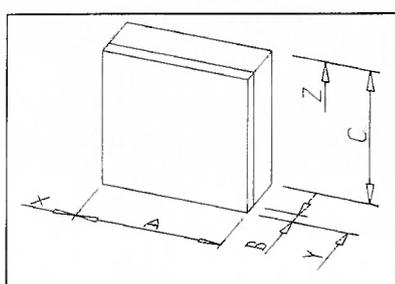
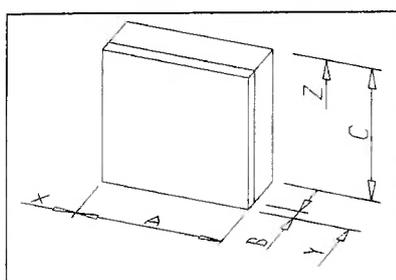


Figura 6.5 Composição da “feature” F1.



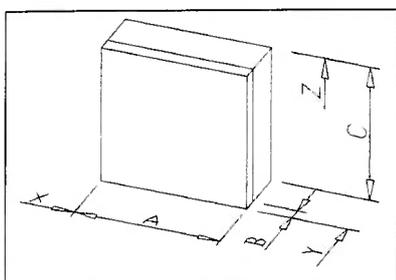
Feature 1a	VAF	X	A	Y	B	Z	C	Ra
Face	Y	0	45	0	2	15	15	50

Tabela 6.1 Descrição geométrica da “feature” F1a .



Feature 1b	VAF	X	A	Y	B	Z	C	Ra
Face	Y	25	100	0	2	45	35	50

Tabela 6.2 Descrição geométrica da “feature” F1b .



Feature 1c	VAF	X	A	Y	B	Z	C	Ra
Face	Y	125	25	0	2	25	15	50

Tabela 6.3 Descrição geométrica da “feature” F1c .

6.3.2 Descrição da “feature” composta F4

De forma semelhante a anterior, a “feature” F4 também é composta por um grupo de “features”, no caso duas do tipo furo e uma cavidade, conforme representado na figura 6.6, sendo estas “features” definidas como F4a, F4b e F4c e cada uma descrita, respectivamente, pelas tabelas 6.4, 6.5 e 6.6 .

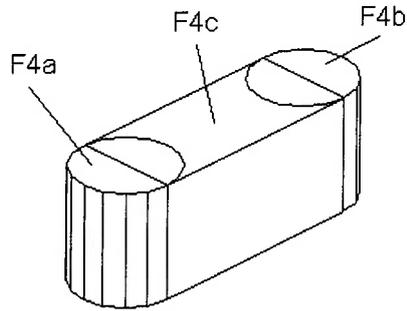
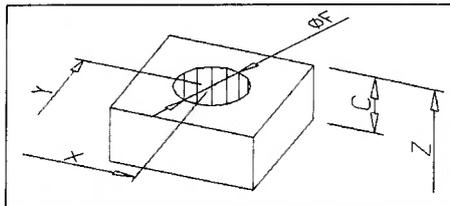
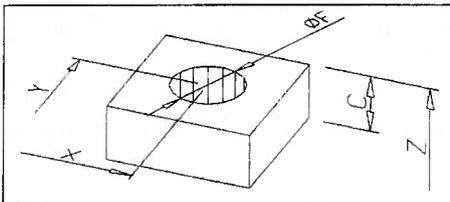


Figura 6.6 Composição da “feature” F4.



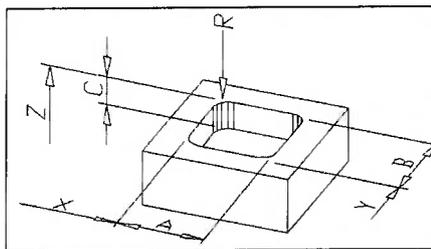
Feature 4a	VAF	X	A	Y	B	Z	C	ØF	Ra
Furo	$\pm Z$	12		12		15	15	13	50

Tabela 6.4 Descrição geométrica da “feature” F4a .



Feature 4b	VAF	X	A	Y	B	Z	C	ØF	Ra
Furo	$\pm Z$	12		40		15	15	13	50

Tabela 6.5 Descrição geométrica da “feature” F4b .

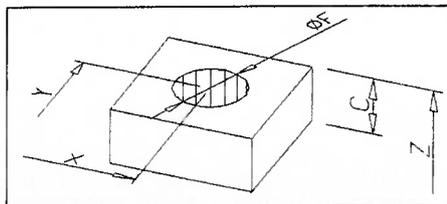


Feature 4c	VAF	X	A	Y	B	Z	C	R	Ra
Cavidade	$\pm Z$	5.5	13	12	28	15	15	0	50

Tabela 6.6 Descrição geométrica da “feature” F4c .

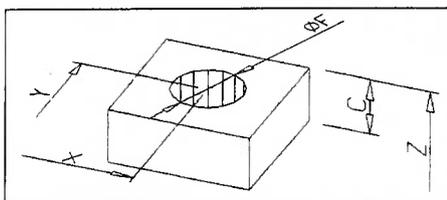
6.3.3 Descrição da “feature” composta F8

A “feature” F8 é análoga a “feature” F4 porém, os furos são denominados F8a e F8b e são geometricamente descritos nas tabelas 6.7 e 6.8, sendo a cavidade denominada por F8c e a tabela 6.9 sua correspondente.



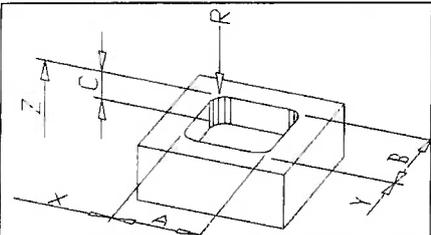
Feature 8a	VAF	X	A	Y	B	Z	C	ØF	Ra
Furo	$\pm Z$	138		12		25	15	13	50

Tabela 6.7 Descrição geométrica da “feature” F8a .



Feature 8b	VAF	X	A	Y	B	Z	C	ØF	Ra
Furo	$\pm Z$	138		40		25	15	13	50

Tabela 6.8 Descrição geométrica da “feature” F8b .



Feature 4c	VAF	X	A	Y	B	Z	C	R	Ra
Cavidade	$\pm Z$	131.5	13	12	28	25	15	0	50

Tabela 6.9 Descrição geométrica da “feature” F8c .

6.3.4 Descrição da “feature” composta F10

A “feature” F10, de forma semelhante a “feature” F1, também é composta por três “features” do tipo face, definidas como F10a, F10b e F10c (figura 6.7) e respectivamente descrita pelas tabelas 6.10, 6.11 e 6.12 .

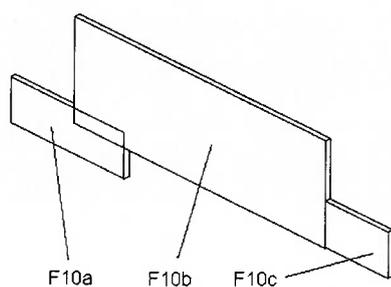
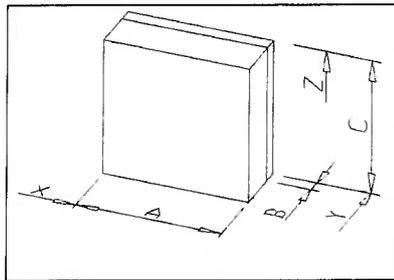
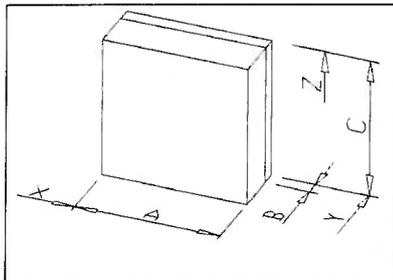


Figura 6.7 Composição da “feature” F1.



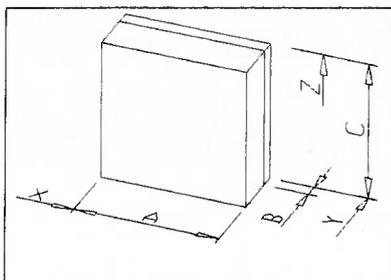
Feature 10a	VAF	X	A	Y	B	Z	C	Ra
Face	- Y	0	45	72	2	15	15	50

Tabela 6.10 Descrição geométrica da “feature” F10a .



Feature 10b	VAF	X	A	Y	B	Z	C	Ra
Face	- Y	25	100	72	2	45	35	50

Tabela 6.11 Descrição geométrica da “feature” F10b .

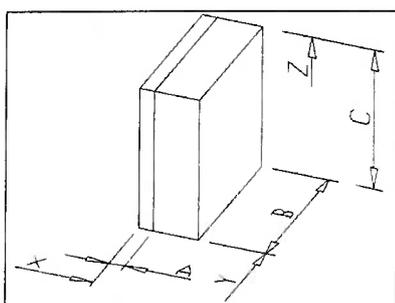


Feature 10c	VAF	X	A	Y	B	Z	C	Ra
Face	- Y	125	25	72	2	25	15	50

Tabela 6.12 Descrição geométrica da “feature” F10c .

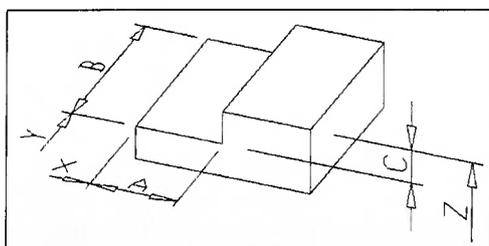
6.3.5 Descrição das “features” básicas

As “features” básicas são aquelas originadas por uma única “feature” do grupo básico apresentado no capítulo 4. No exemplo de aplicação deste trabalho, as “features” F2, F3, F5, F6, F7, F9, F11, F12, F13, F14 e F15 são básicas e são descritas, a seguir, pelas tabelas 6.13 a 6.23 .



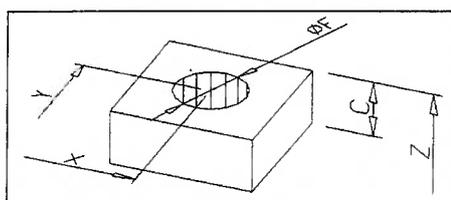
Feature 2	VAF	X	A	Y	B	Z	C	Ra
Face	X	0	2	0	70	15	15	50

Tabela 6.13 Descrição geométrica da “feature” F2 .



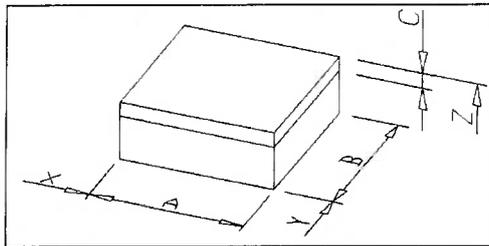
Feature 3	VAF	X	A	Y	B	Z	C	Ra
Rebaixo reto	- Z	0	25	0	70	17	2	50

Tabela 6.14 Descrição geométrica da “feature” F3 .



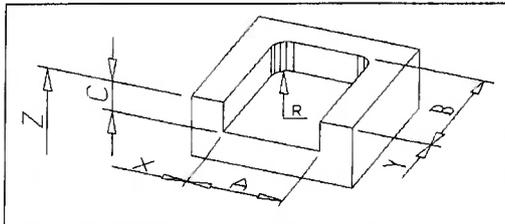
Feature 5	VAF	X	A	Y	B	Z	C	ØF	Ra
Furo	$\pm Z$	12		60		15	15	8	50

Tabela 6.15 Descrição geométrica da “feature” F5 .



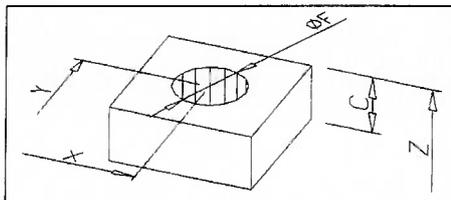
Feature 6	VAF	X	A	Y	B	Z	C	Ra
Face	-Z	25	100	0	70	47	2	0,8

Tabela 6.16 Descrição geométrica da “feature” F6 .



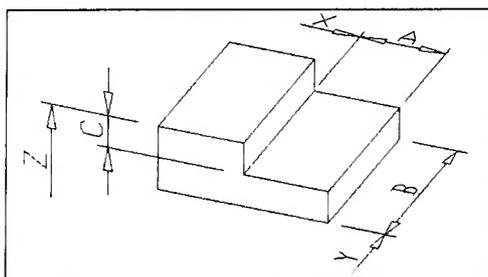
Feature 7	VAF	X	A	Y	B	Z	C	R	Ra
Canal cego	-Z	40	70	0	55	45	18	4	50

Tabela 6.17 Descrição geométrica da “feature” F7 .



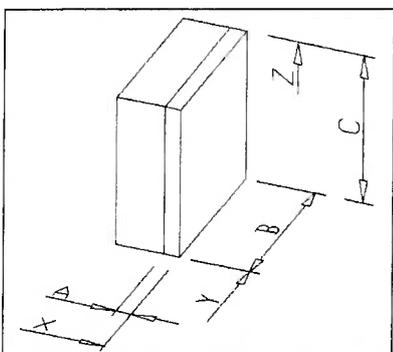
Feature 9	VAF	X	A	Y	B	Z	C	ØF	Ra
Furo	$\pm Z$	138		60		25	15	8	50

Tabela 6.18 Descrição geométrica da “feature” F9 .



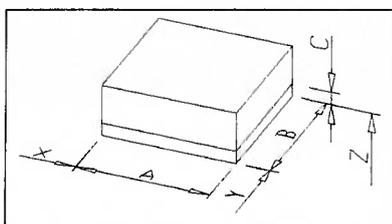
Feature 11	VAF	X	A	Y	B	Z	C	Ra
Rebaixo reto	- Z	125	25	0	70	27	2	50

Tabela 6.19 Descrição geométrica da “feature” F11 .



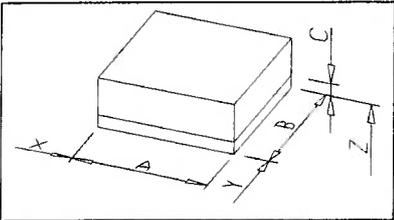
Feature 12	VAF	X	A	Y	B	Z	C	Ra
Face	- X	152	2	0	70	25	15	50

Tabela 6.20 Descrição geométrica da “feature” F12 .



Feature 13	VAF	X	A	Y	B	Z	C	Ra
Face	Z	105	45	0	70	8	2	0,8

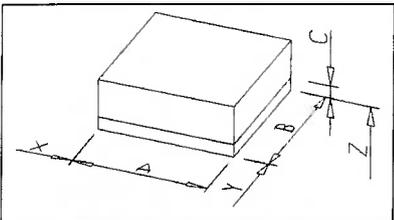
Tabela 6.21 Descrição geométrica da “feature” F13 .



Feature 14	VAF	X	A	Y	B	Z	C	Ra
Face	Z	45	60	0	70	13	0	0

Tabela 6.22 Descrição geométrica da “feature” F14 .

Na descrição geométrica da “feature” 14 foi atribuído um valor nulo ao parâmetro “C” , o que significa que esta “feature” não necessita ser usinada. Da mesma forma ocorre com uma “feature” que tenha sido previamente usinada.



Feature 15	VAF	X	A	Y	B	Z	C	Ra
Face	Z	0	45	0	70	0	2	0,8

Tabela 6.23 Descrição geométrica da “feature” F14 .

6.4 Matriz de remoção

Uma vez identificadas as “features” da peça podemos estabelecer as relações de dependência existente entre elas. Estas relações de dependência são expressas pela “Matriz de Remoção” (figura 6.8) encerrando-se, desta forma, a etapa de descrição da peça.

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12	F13	F14	F15	ΣDS	ΣDR	ΣDD
F1																		
F2																		
F3						DR											1	
F4	DR	DR	DD												DD		2	2
F5	DR	DR	DD												DD		2	2
F6																		
F7	DR	DR				DS										1	2	
F8	DR			DR	DR						DD		DD				3	2
F9	DR			DR	DR						DD		DD				3	2
F10	DR																1	
F11			DR			DR											2	
F12		DR															1	
F13		DR				DR											2	
F14		DR															1	
F15						DR											1	
ΣC	6	6	3	2	2	5					2		2		2			

Figura 6.8 Matriz de remoção.

6.5 Simulação dos modelos

A validação dos modelos E-MFG, definidos no capítulo 5, foi realizado de forma manual com auxílio do software Microsoft Excel, visto não ser conhecida até a presente data uma ferramenta computacional adequada para a simulação de modelos E-MFG, e o desenvolvimento de tal ferramenta foge ao escopo deste trabalho. Assim, todas as informações provenientes da peça a ser fixada são reunidas numa única planilha¹, a partir da qual são selecionados e agrupados os atributos que constituem cada uma das marcas empregadas nas atividades específicas. Uma vez obtida a marca, esta é aplicada ao modelo de controle E-MFG correspondente, sendo que o manuseio dos modelos e das marcas, basicamente, consiste em:

- composição das marcas

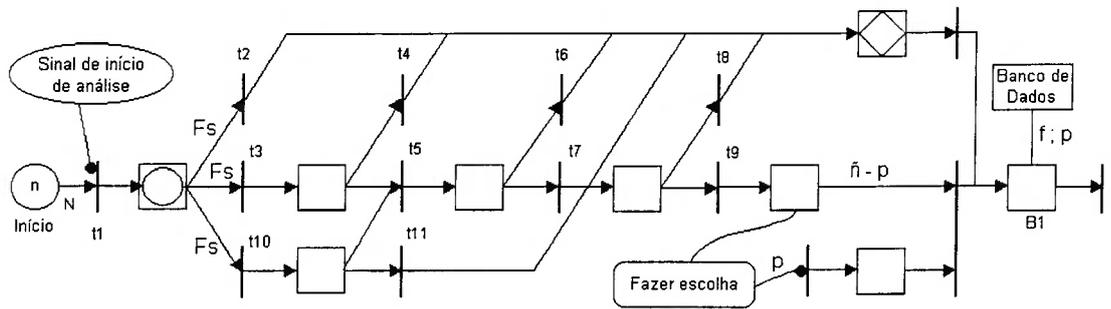
- arbitragem do disparo das transições
- execução da filtragem seletiva
- armazenamento das informações obtidas
- execução da seqüência de atividades

Como exemplo , apresenta-se a simulação da atividade [Seleção da “feature” inicial] cujo modelo de controle corresponde a figura 5.5 ora rerepresentado na figura 6.9, com a marcação inicial representada pela tabela 6.24 e marcação final pela tabela 6.25 .

As regras adicionais de disparo das transições são definidas como:

- t1: **se** $F_{uj} = 1$ **então dispara** t1 ;
- t2: **se** $F_{ij} = 1$ e $n = 1$ **então dispara** t2 ;
- t3: **se** $F_{ij} = 1$ e $n > 1$ **então dispara** t3 ;
- t4: **se** $F_{id_j} = \text{Máx} \{F_{id_j}\}$ e $n = 1$ **então dispara** t4 ;
- t5: **se** $F_{id_j} = \text{Máx} \{F_{id_j}\}$ e $n > 1$ **então dispara** t5 ;
- t6: **se** $F_{au_j} = \text{Máx} \{F_{au_j}\}$ e $n = 1$ **então dispara** t6 ;
- t7: **se** $F_{au_j} = \text{Máx} \{F_{au_j}\}$ e $n > 1$ **então dispara** t7 ;
- t8: **se** $F_{vj} = \text{Máx} \{F_{vj}\}$ e $n = 1$ **então dispara** t8 ;
- t9: **se** $F_{vj} = \text{Máx} \{F_{vj}\}$ e $n > 1$ **então dispara** t9 ;
- t10: **se** $F_{ij} = 0$ **então dispara** t10 ;
- t11: **se** $F_{dj} = 1$ e $n = 1$ **então dispara** t11

¹ Foi omitida a apresentação da planilha com as informações provenientes da peça, pois esta não se adequa a formatação dimensional necessária a apresentação deste trabalho.



$$\text{marca } m \left(\begin{array}{cccccccc} f_1 & Fu_1 & Fi_1 & Fd_1 & Fid_1 & Fau_1 & Fv_1 & p_1 \\ f_2 & Fu_2 & Fi_2 & Fd_2 & Fid_2 & Fau_2 & Fv_2 & p_2 \\ f_n & Fu_n & Fi_n & Fd_n & Fid_n & Fau_n & Fv_n & p_n \end{array} \right)$$

Os atributos são definidos como:

f_j – número identificador da “feature” $_j$ de acordo com a numeração definida na matriz de remoção.

Fu_j – “feature” $_j$ à ser usinada.

Fi_j – “feature” $_j$ independente.

Fd_j – “feature” $_j$ dependente, com “features” das quais seja dependente previamente usinada.

Fid_j – número de “features” dependentes da “feature” $_j$ em questão.

Fau_j – área da “feature” $_j$.

Fv_j – volume de material à ser removido da “feature” $_j$.

p_j – indicador de seqüência de remoção.

Figura 6.9 Modelo de controle E-MFG para obtenção da “feature” inicial.

f	Fu	Fi	Fd	Fid	Fau	FV	p
1	1	1	0	6	3510	7020	0
2	1	1	0	6	1050	2100	0
3	1	0	0	3	1750	3500	0
4	1	0	0	2	496,67	7450,5	0
5	1	0	0	2	50,24	753,6	0
6	1	1	0	5	7000	14000	0
7	1	0	0	0	3850	69300	0
8	1	0	0	0	496,67	7450,5	0
9	1	0	0	0	50,24	753,6	0
10	1	0	0	0	3510	7020	0
11	1	0	0	2	1750	3500	0
12	1	0	0	0	1050	2100	0
13	1	0	0	2	3150	6300	0
14	0	0	0	0	4200	0	0
15	1	0	0	2	3150	6300	0

Tabela 6.24 Marca utilizada na determinação da “feature” inicial.

f	Fu	Fi	Fd	Fid	Fau	FV	p
1	1	1	0	6	3510	7020	1

Tabela 6.25 Marcação final.

O disparo das transições t1, t3, t5, t7 e t8 nos permite obter a marcação final, a qual estabelece a primeira “feature” a ser usinada identificada, neste caso, a “feature” com numeral 1. Uma vez obtida e armazenada esta informação dá-se

prosseguimento as demais atividades que culminam na obtenção de todas as informações referentes à montagem do primeiro dispositivos de fixação. Estas informações são agrupadas na tabela 6.26, e nas figura 6.10 e 6.11 são apresentadas vista em perspectiva do citado dispositivo.

Para que todas as “features” possam ser removidas há necessidade de se elaborar outros dispositivos, os quais são obtidos mediante a atualização da matéria prima e repetição do processo descrito anteriormente, cuja especificação corresponde as tabelas 6.27 a 6.31 e respectivos desenhos figuras 6.12 a 6.21 .

“Features” à serem usinadas		F1			
Plano primário de localização		F3 ; F6 ; F11			
Elementos localizadores, auxiliares e coordenadas de montagem					
Localizador	Código do localizador	Coordenadas de montagem	VAF	Suporte universal	Calços
PL1.1	02029-206012	(7 , 7 , 15)	-Z	2146 006 003	2118 006 115 E2 2136 006 005
PL1.2	02029-206012	(75 , 63 , 45)	-Z	2146 006 003	2118 006 115 E
PL1.3	02029-206012	(143 , 7 , 25)	-Z	2146 006 003	2136 006 005
Plano secundário de localização		F10			
Elementos localizadores, auxiliares e coordenadas de montagem					
Localizador	Código do localizador	Coordenadas de montagem	VAF	Suporte universal	Calços
PL2.1	02029-206012	(7 , 70 , 7)	-Y	2146 006 003	-----
PL2.2	02029-206012	(143 , 70 , 17)	-Y	-----	2118 006 105 E2 2118 006 115 E
Plano terciário de localização		F2			
Elementos localizadores, auxiliares e coordenadas de montagem					
Localizador	Código do localizador	Coordenadas de montagem	VAF	Suporte universal	Calços
PL3	02029-206012	(0 , 7 , 7.5)	X	2146 006 003	-----
Plano primário de sujeição		F13 ; F14 ; F15			
Elementos de sujeição e coordenadas de montagem					
Código		Coordenadas	VAF		
Não determinado		(75 , 28 , 13)	Z		
Plano terciário de sujeição		F12			
Elementos de sujeição e coordenadas de montagem					
Código		Coordenadas	VAF		
Não determinado		(150 , 7 , 17)	-X		
Blocos e Base					
Tipo		Código	Quant		
Base		2006 006 010	1		
Bloco		2041 006 005	3		

Tabela 6.26 Informações para primeira montagem.

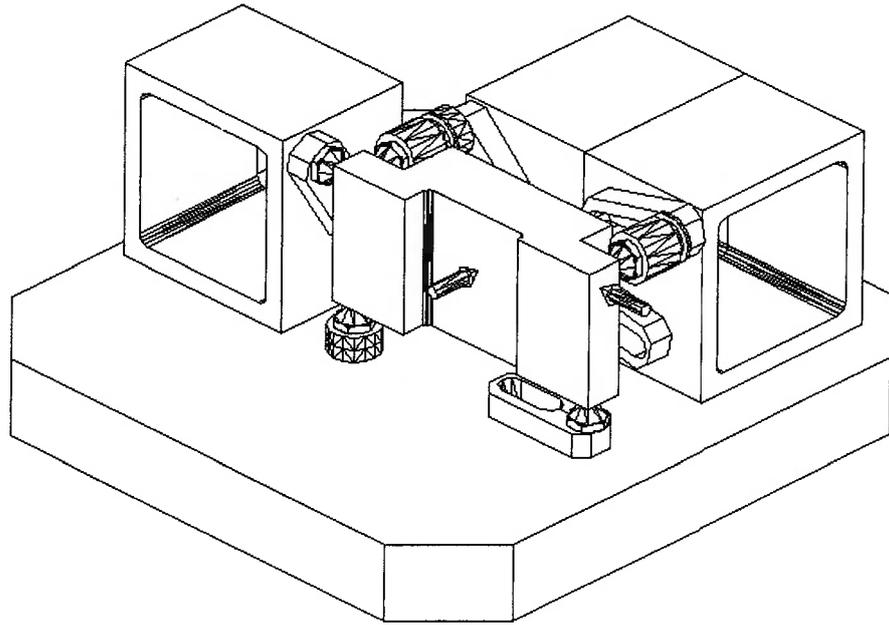


Figura 6.10 Montagem do dispositivo para usinagem da “features” F1.

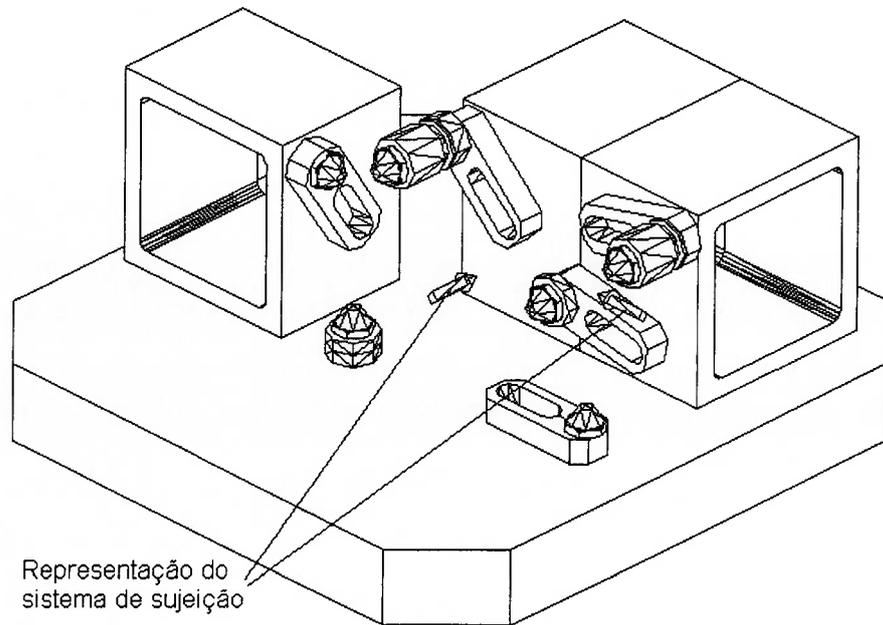


Figura 6.11 Montagem do dispositivo para usinagem de F1, sem representação do produto.

“Features” à serem usinadas		F2			
Plano primário de localização		F13 ; F14 ; F15			
Elementos localizadores, auxiliares e coordenadas de montagem					
Localizador	Código do localizador	Coordenadas de montagem	VAF	Suporte universal	Calços
PL1.1	02029-206012	(7 , 63 , 0)	Z	2146 006 003	2118 006 125 E1
PL1.2	02029-206012	(143 ,63 , 10)	Z	2146 006 003	2136 006 005
PL1.3	02029-206012	(75 , 7 , 13)	Z	2146 006 003	2136 006 005
Plano secundário de localização		F1			
Elementos localizadores, auxiliares e coordenadas de montagem					
Localizador	Código do localizador	Coordenadas de montagem	VAF	Suporte universal	Calços
PL2.1	02029-206012	(7 , 0 , 7)	Y	2146 006 003	-----
PL2.2	02029-206012	(143 , 0 , 18)	Y	2146 006 003	-----
Plano terciário de localização		F12			
Elementos localizadores, auxiliares e coordenadas de montagem					
Localizador	Código do localizador	Coordenadas de montagem	VAF	Suporte universal	Calços
PL3	02029-206012	(150, 35, 17.5)	X	-----	-----
Plano primário de sujeição		F3 ; F6 ; F11			
Elementos de sujeição e coordenadas de montagem					
Código		Coordenadas	VAF		
Não determinado		(75 , 28 , 45)	-Z		
Plano secundário de sujeição		F10			
Elementos de sujeição e coordenadas de montagem					
Código		Coordenadas	VAF		
Não determinado		(75 , 70 , 17)	-Y		
Blocos e Base					
Tipo		Código	Quant		
Base		2006 006 010	1		
Bloco		2041 006 005	4		

Tabela 6.27 Informações para segunda montagem.

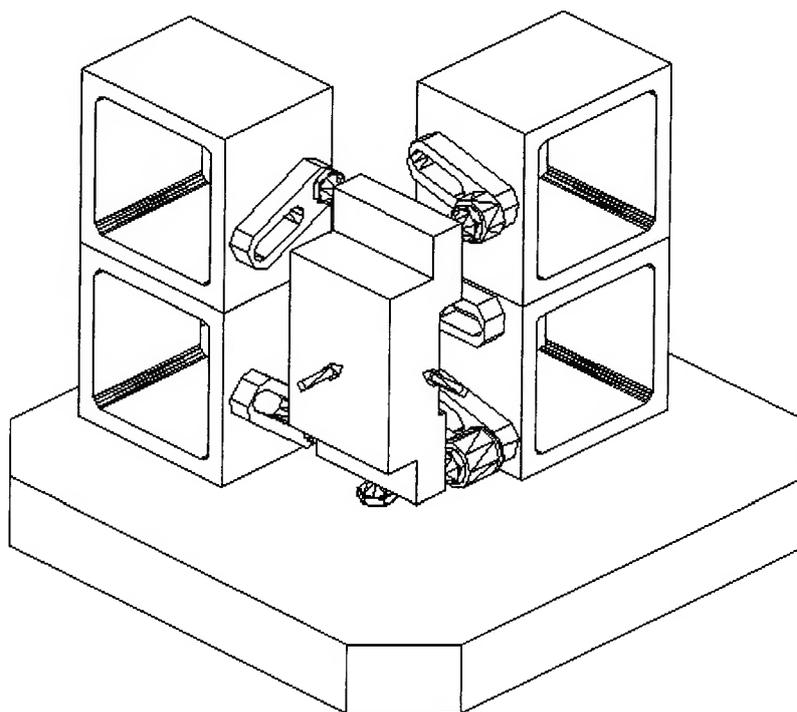


Figura 6.12 Montagem do dispositivo para usinagem de F2.

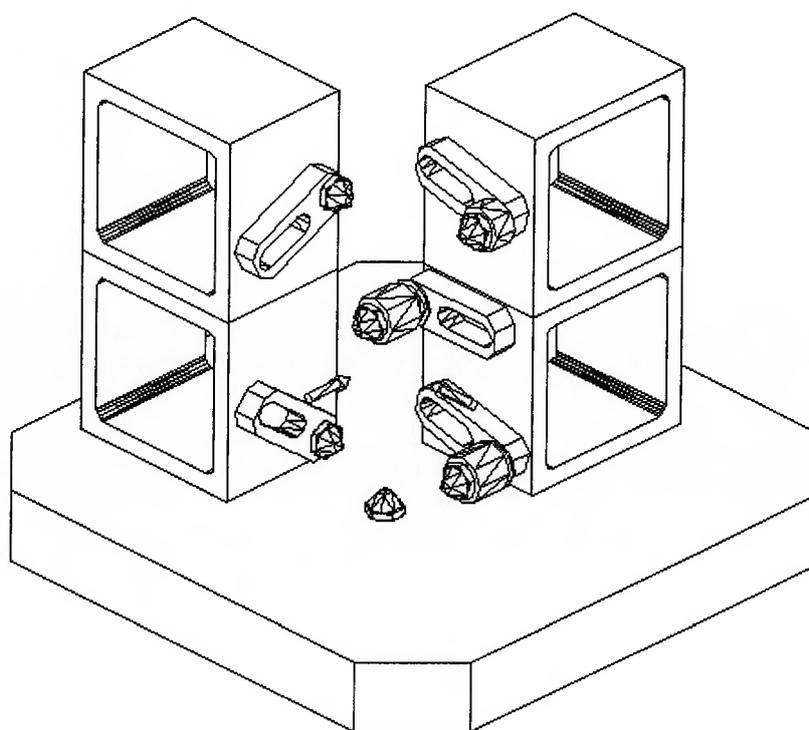


Figura 6.13 Montagem do dispositivo para usinagem de F2, sem representação do produto.

“Features” à serem usadas		F6 ; F3 ; F7 ; F11			
Plano primário de localização		F13 ; F14 ; F15			
Elementos localizadores, auxiliares e coordenadas de montagem					
Localizador	Código do localizador	Coordenadas de montagem	VAF	Suporte universal	Calços
PL1.1	02029-206012	(7 , 63 , 0)	Z	-----	2118 006 115 E5 2118 006 115 E5
PL1.2	02029-206012	(143 , 63 , 10)	Z	2146 006 003	2136 006 005
PL1.3	02029-206012	(75 , 7 , 13)	Z	2146 006 003	2136 006 005
Plano secundário de localização		F1			
Elementos localizadores, auxiliares e coordenadas de montagem					
Localizador	Código do localizador	Coordenadas de montagem	VAF	Suporte universal	Calços
PL2.1	02029-206012	(7 , 0 , 7)	Y	2146 006 003	-----
PL2.2	02029-206012	(143 , 0 , 18)	Y	2146 006 003	-----
Plano terciário de localização		F2			
Elementos localizadores, auxiliares e coordenadas de montagem					
Localizador	Código do localizador	Coordenadas de montagem	VAF	Suporte universal	Calços
PL3	02029-206012	(0 , 35 , 8)	X	2146 006 003	-----
Plano secundário de sujeição		F10			
Elementos de sujeição e coordenadas de montagem					
Código		Coordenadas	VAF		
Não determinado		(75 , 70 , 17)	-Y		
Plano terciário de sujeição		F12			
Elementos de sujeição e coordenadas de montagem					
Código		Coordenadas	VAF		
Não determinado		(150 , 35 , 17)	-X		
Blocos e Base					
Tipo		Código	Quant		
Base		2006 006 010	1		
Bloco		2041 006 005	3		

Tabela 6.28 Informações para terceira montagem.

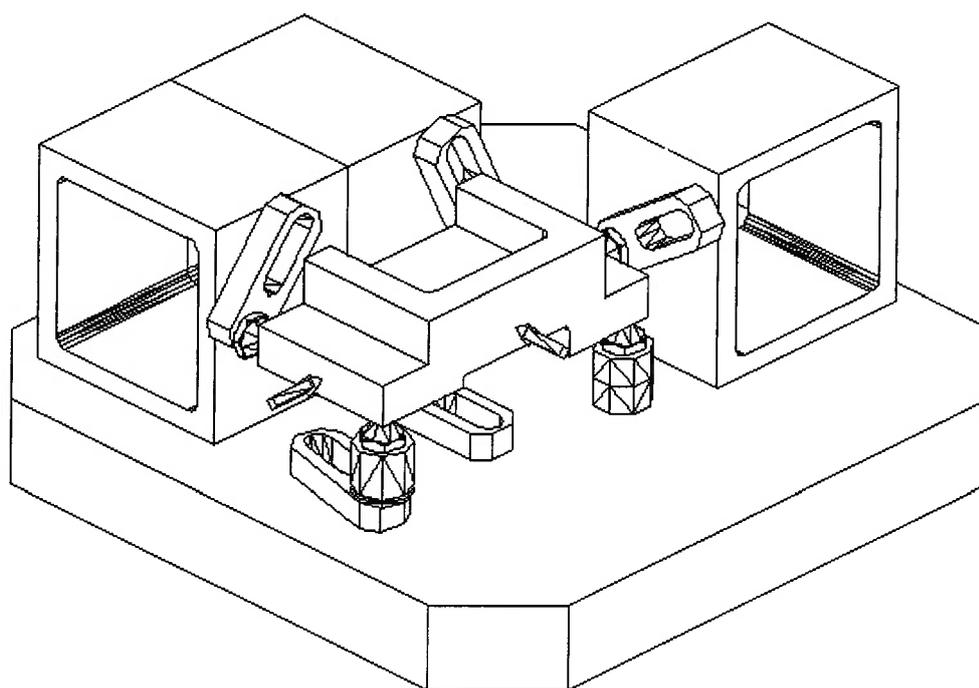


Figura 6.14 Montagem do dispositivo para usinagem da “features” F6, F3, F7 e F11.

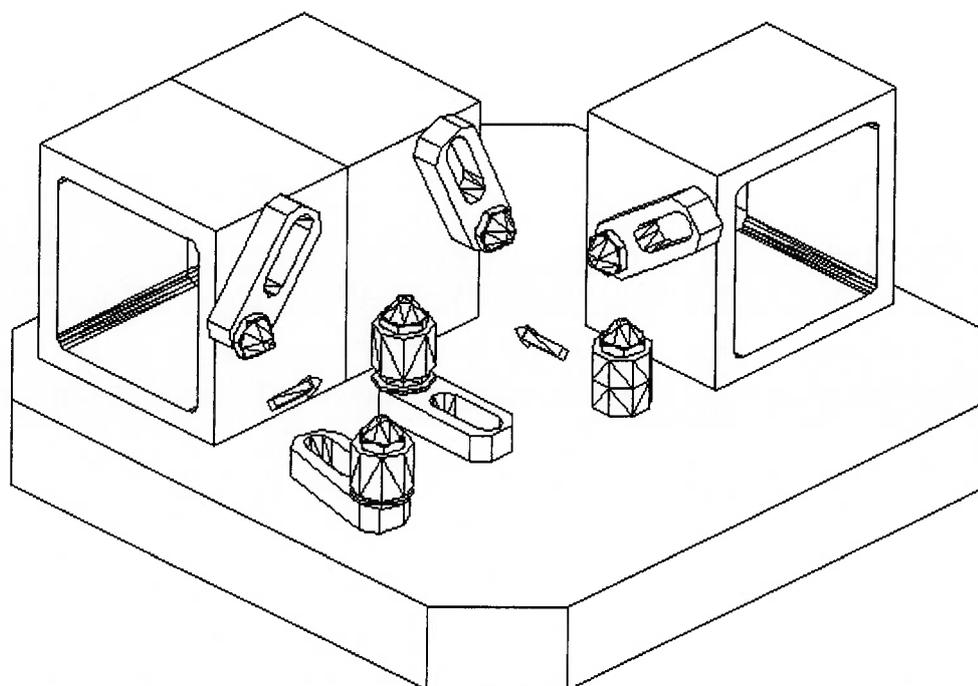


Figura 6.15 Montagem do dispositivo para usinagem de F6, F3, F7 e F11 sem representação do produto.

“Features” à serem usadas		F13 ; F15 ; F4 ; F8 ; F5 ; F9			
Plano primário de localização		F3 ; F6 ; F7 ; F11			
Elementos localizadores, auxiliares e coordenadas de montagem					
Localizador	Código do localizador	Coordenadas de montagem	VAF	Suporte universal	Calços
PL1.1	02029-206012	(32 , 7 , 45)	-Z	2146 006 003	-----
PL1.2	02029-206012	(75 , 63 , 45)	-Z	-----	2118 006 115 E 2118 006 105 E2
PL1.3	02029-206012	(118 , 7 , 45)	-Z	2146 006 003	-----
Plano secundário de localização		F1			
Elementos localizadores, auxiliares e coordenadas de montagem					
Localizador	Código do localizador	Coordenadas de montagem	VAF	Suporte universal	Calços
PL2.1	02029-206012	(7 , 0 , 7)	Y	2146 006 003	-----
PL2.2	02029-206012	(143 , 0 , 18)	Y	2146 006 003	-----
Plano terciário de localização		F12			
Elementos localizadores, auxiliares e coordenadas de montagem					
Localizador	Código do localizador	Coordenadas de montagem	VAF	Suporte universal	Calços
PL3	02029-206012	(0 , 35 , 8)	X	2146 006 003	-----
Plano secundário de sujeição		F10			
Elementos de sujeição e coordenadas de montagem					
Código		Coordenadas	VAF		
Não determinado		(75 , 70 , 17)	-Y		
Plano terciário de sujeição		F12			
Elementos de sujeição e coordenadas de montagem					
Código		Coordenadas	VAF		
Não determinado		(150 , 35 , 17)	-X		
Blocos e Base					
Tipo		Código	Quant		
Base		2006 006 010	1		
Bloco		2041 006 005	3		

Tabela 6.29 Informações para quarta montagem.

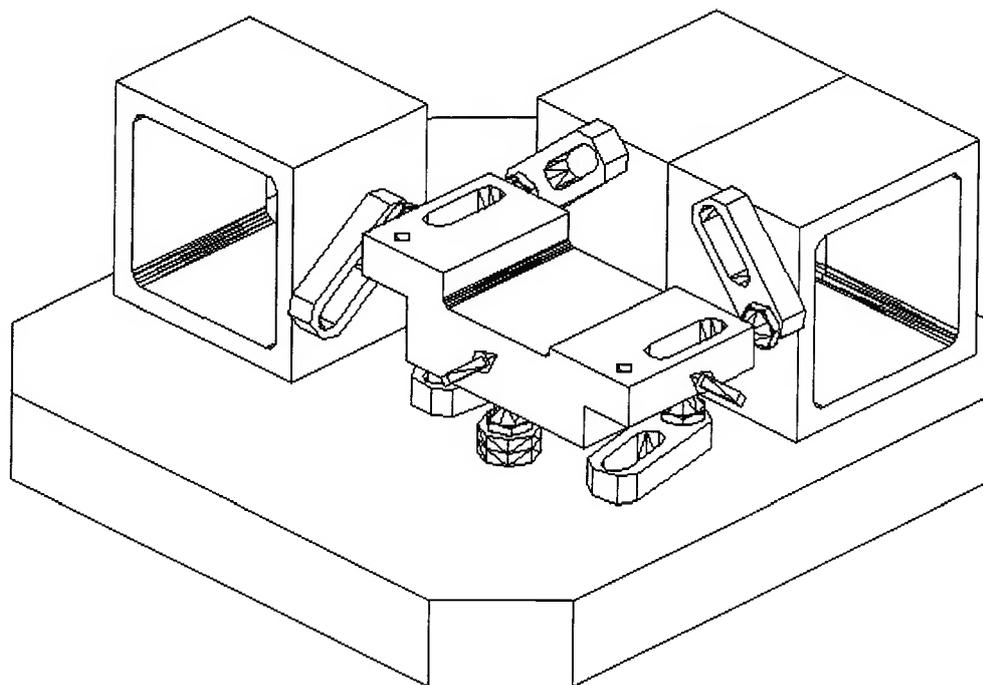


Figura 6.16 Montagem do dispositivo para usinagem de F13 ; F15 ; F4 ; F8 ;
F5 e F9.

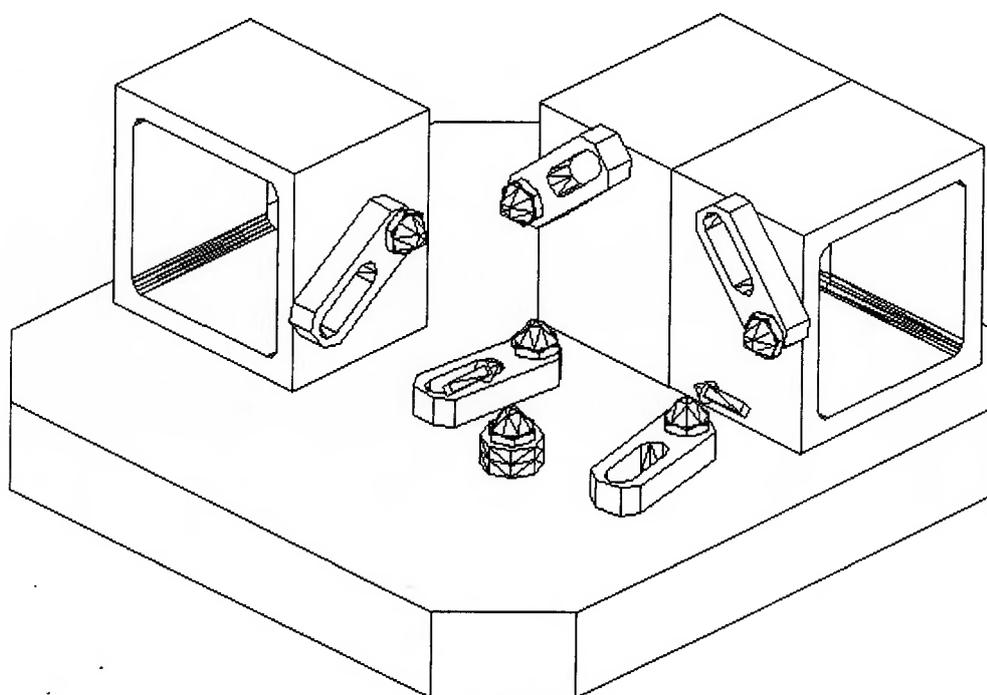


Figura 6.17 Montagem do dispositivo para usinagem de F13 ; F15 ; F4 ; F8 ;
F5 e F9 sem representação do produto.

“Features” à serem usadas		F10			
Plano primário de localização		F13 ; F14 ; F15			
Elementos localizadores, auxiliares e coordenadas de montagem					
Localizador	Código do localizador	Coordenadas de montagem	VAF	Suporte universal	Calços
PL1.1	02029-206012	(7 , 63 , 0)	Z	2146 006 003	2118 006 125 E1
PL1.2	02029-206012	(143 ,60 , 10)	Z	2146 006 003	2136 006 005
PL1.3	02029-206012	(118 , 7 , 45)	Z	2146 006 003	2136 006 005
Plano secundário de localização		F1			
Elementos localizadores, auxiliares e coordenadas de montagem					
Localizador	Código do localizador	Coordenadas de montagem	VAF	Suporte universal	Calços
PL2.1	02029-206012	(7 , 0 , 7)	Y	-----	2118 006 115 E 218 006 105 E2
PL2.2	02029-206012	(143 , 0 , 18)	Y	2146 006 003	-----
Plano terciário de localização		F2			
Elementos localizadores, auxiliares e coordenadas de montagem					
Localizador	Código do localizador	Coordenadas de montagem	VAF	Suporte universal	Calços
PL3	02029-206012	(0 , 35 , 8)	X	2146 006 003	-----
Plano primário de sujeição		F7			
Elementos de sujeição e coordenadas de montagem					
Código		Coordenadas	VAF		
Não determinado		(75 , 32 , 27)	-Z		
Plano terciário de sujeição		F12			
Elementos de sujeição e coordenadas de montagem					
Código		Coordenadas	VAF		
Não determinado		(150 , 35 , 17)	-X		
Blocos e Base					
Tipo		Código	Quant		
Base		2006 006 010	1		
Bloco		2041 006 005	3		

Tabela 6.30 Informações para quinta montagem.

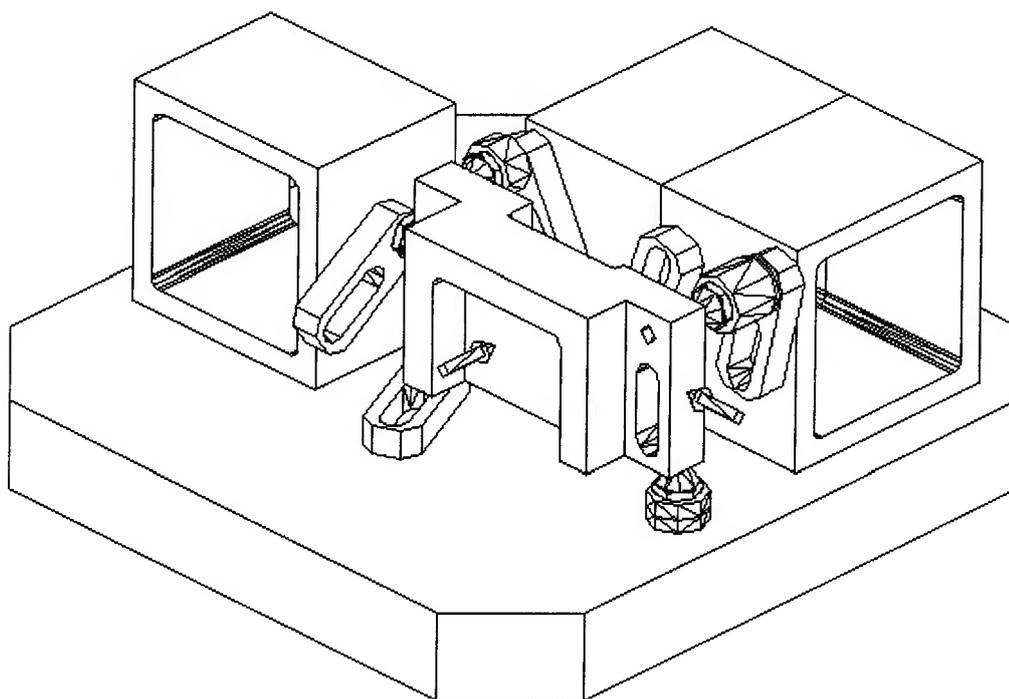


Figura 6.18 Montagem do dispositivo para usinagem de F10.

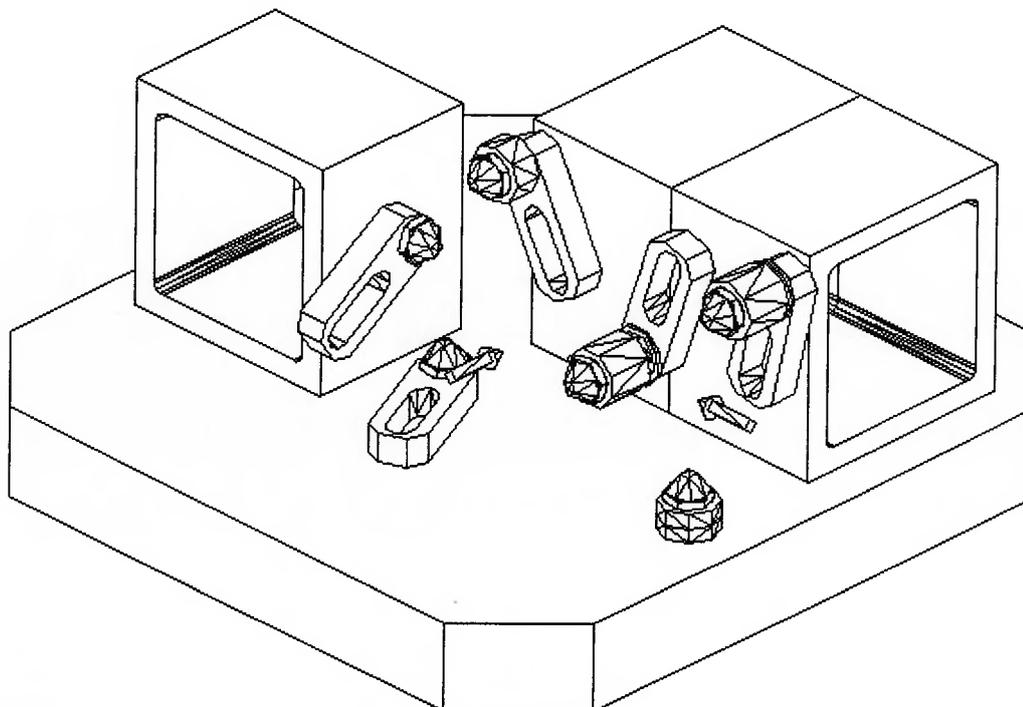


Figura 6.19 Montagem do dispositivo para usinagem de F10 sem representação do produto.

“Features” à serem usadas		F12			
Plano primário de localização		F13 ; F14 ; F15			
Elementos localizadores, auxiliares e coordenadas de montagem					
Localizador	Código do localizador	Coordenadas de montagem	VAF	Suporte universal	Calços
PL1.1	02029-206012	(7 , 63 , 0)	Z	2146 006 003	2118 006 125 E1
PL1.2	02029-206012	(143 ,60 , 10)	Z	2146 006 003	2136 006 005
PL1.3	02029-206012	(118 , 7 , 45)	Z	2146 006 003	2136 006 005
Plano secundário de localização		F1			
Elementos localizadores, auxiliares e coordenadas de montagem					
Localizador	Código do localizador	Coordenadas de montagem	VAF	Suporte universal	Calços
PL2.1	02029-206012	(7 , 0 , 7)	Y	-----	2118 006 115 E 218 006 105 E2
PL2.2	02029-206012	(143 , 0 , 18)	Y	2146 006 003	-----
Plano terciário de localização		F2			
Elementos localizadores, auxiliares e coordenadas de montagem					
Localizador	Código do localizador	Coordenadas de montagem	VAF	Suporte universal	Calços
PL3	02029-206012	(0 , 35 , 8)	X	2146 006 003	-----
Plano primário de sujeição		F7			
Elementos de sujeição e coordenadas de montagem					
Código		Coordenadas	VAF		
Não determinado		(75 , 32 , 27)	-Z		
Plano secundário de sujeição		F10			
Elementos de sujeição e coordenadas de montagem					
Código		Coordenadas	VAF		
Não determinado		(75 , 70 , 17)	X		
Blocos e Base					
Tipo		Código	Quant		
Base		2006 006 010	1		
Bloco		2041 006 005	4		

Tabela 6.31 Informações para sexta montagem.

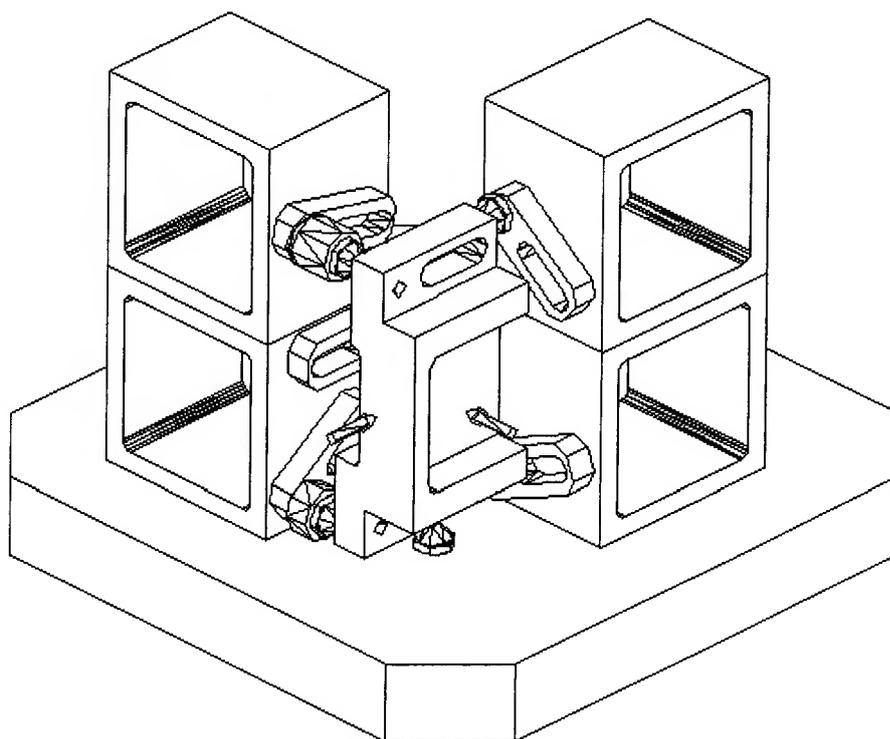


Figura 6.20 Montagem do dispositivo para usinagem de F12.

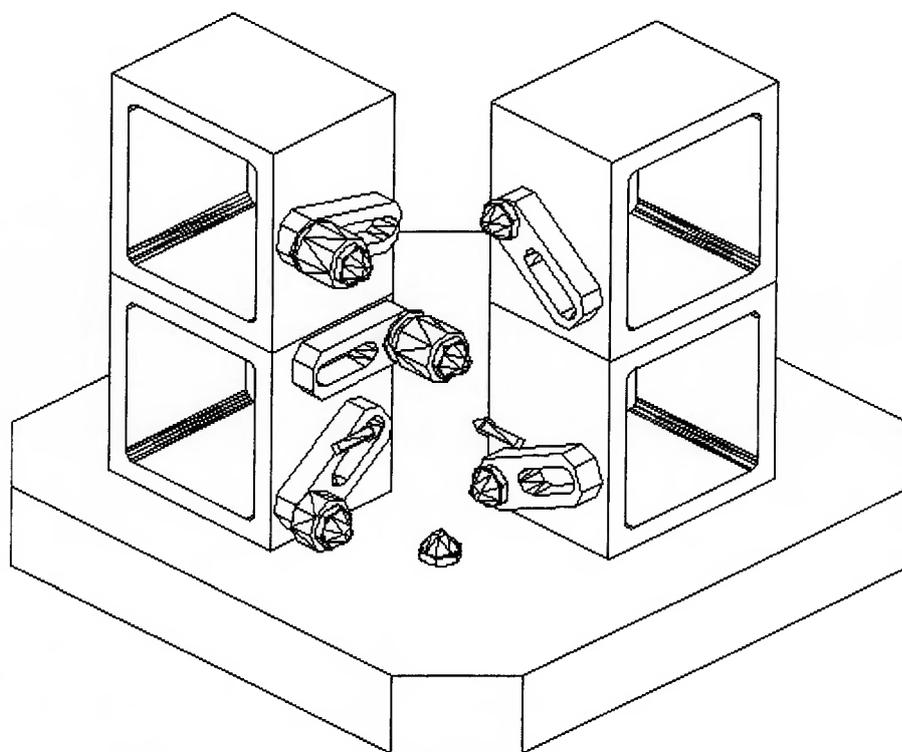


Figura 6.21 Montagem do dispositivo para usinagem de F12 sem representação do produto.

CAPÍTULO 7

CONCLUSÕES FINAIS

Neste trabalho a descrição das atividades pertinentes ao planejamento de dispositivos de fixação de peças prismáticas, até então incipiente, foi organizada e acrescida de critérios e regras antes desenvolvidas de forma pessoal e intuitiva.

Esta nova abordagem torna possível implementar o sistema de planejamento da fixação sem o concurso de um especialista em planejamento de dispositivos. Ao mesmo tempo, a estrutura proposta valoriza as possíveis interações do operador do sistema no decorrer do desenvolvimento das atividades, permitindo que este operador atue como árbitro em situações não contempladas. Estas possibilidades são devidas a capacidade de representação da metodologia E-MFG/PFS, a qual permite refinamento gradual, partindo-se de macro atividades até o modelo de controle do sistema, com regras para a tomada de decisão. Além disso, é possível armazenar todas as mudanças de estado de cada modelo de controle, o que constitui uma vantagem em relação a outras metodologias, pois estas informações podem ser utilizadas em famílias de peças. Sendo assim, uma decisão tomada pelo operador do sistema pode ser armazenada e posteriormente aplicada à peças de uma mesma família, o que torna o sistema, no decorrer de seu uso, ainda mais independente de interferência humana.

Outro ponto relevante é o método de reconhecimento de “features”, que no presente trabalho foi realizado manualmente apenas para demonstrar e facilitar a

compreensão de todo o contexto, no entanto já existem sistemas que realizam o reconhecimento de “features” a partir de arquivos eletrônicos CAD, o que contribui com a redução do tempo empregado no planejamento do processo.

Ao longo do desenvolvimento apresentado foi possível concluir que a classificação quanto ao grau de automação, apresentado no capítulo 1, não pode ser integralmente aplicado a este trabalho, visto que o sistema apresentado possui características interativas, funções semi automáticas e também totalmente automáticas. O que diferencia, de forma substancial, este trabalho dos demais até então publicados.

Os dispositivos desenvolvidos no capítulo anterior prescindem de elementos de sujeição adequados, motivo pelo qual estes elementos foram indicados de forma esquemática. Os sistemas de sujeição existentes, tanto nacionais quanto estrangeiros, não permitem um controle rigoroso do ponto de atuação e da força imposta a peça, de forma que possam ser agregados à sistemas modulares. Os elementos de sujeição disponíveis no mercado, de modo geral, necessitam de projeto específico para montagem em dispositivos de usinagem.

Com relação a seqüência de desenvolvimento das atividades do planejamento da fixação, esta pode ser alterada em função das necessidades e limitações de equipamentos e elementos disponíveis no parque industrial. Esta flexibilidade se deve ao fato dos altos custos de se manter em estoque elementos modulares e ferramentas de corte, bem como a necessidade de manutenção prevista ou não. Para viabilizar tais alterações, como no caso de ser necessário adaptar o dispositivo de fixação à um determinado grupo de ferramentas de corte, é imprescindível não só

modificar a seqüência de desenvolvimento das atividades como também adicionar regras específicas, o que constitui tema para trabalhos futuros.

No decorrer da revisão bibliográfica, realizada com intuito de conferir o estado da técnica atual do planejamento do processo, verificou-se que não só os dispositivos de usinagem mas também os dispositivos de montagem demandam grande tempo para serem projetados. Os dispositivos de montagem são aqueles elaborados com a finalidade de fixar ou, como na maioria dos casos, apenas apoiar peças as quais serão agregadas outras peças formando assim um conjunto. Tais dispositivos são utilizados, principalmente, na indústria de manufatura em geral e são empregados para peças obtidas a partir dos mais variados processos de fabricação, tais como usinagem, injeção, fundição e outros. Portanto, podemos apontar o desenvolvimento de dispositivos de montagem como tema de interesse e de grande relevância para se reduzir o tempo empregado entre projeto e fabricação e assim agregar competitividade a indústria.

Anexo – A

A.1 Production Flow Schema (PFS)

Apesar das redes de Petri constituírem uma técnica fundamental e extremamente efetiva para a modelagem de sistemas, a medida que os sistemas vão se tornando maiores e mais complexos, o grafo resultante pode ser muito grande, comprometendo assim a facilidade de visualização do sistema MIYAGI (1996).

A metodologia PFS (Production Flow Schema) foi então proposta por MIYAGI (1996) para sistematizar e facilitar a modelagem por redes.

Esta metodologia considera que na modelagem inicial sejam utilizadas inscrições em linguagem natural e posteriormente este modelo seja gradativamente detalhado com interpretações mais formais, ou seja, a princípio a modelagem do sistema é realizada a nível macro e em seguida cada elemento é descrito à seu nível mais detalhado.

O modelo PFS assim obtido pode ser utilizado na representação de sistemas por meio de grafos específicos de controle, como por exemplo o MFG interpretado.

A estrutura do PFS é composta por três elementos básicos:

- Elemento atividade: representado por blocos delimitados por colchetes;
- Elemento distribuidor: representado por círculos;
- Arcos: representado por setas.

O elemento atividade representa a realização de atividades (operações de produção, processamento de informações, montagem, transporte) pertinentes a produção.

O elemento distribuidor representa o armazenamento temporário de itens à serem processados nos elementos atividade.

O Arco representa o sentido do fluxo de itens entre os elementos (atividade / distribuidor).

A Figura A1 apresenta um exemplo de PFS indicando os elementos básicos desta estrutura.

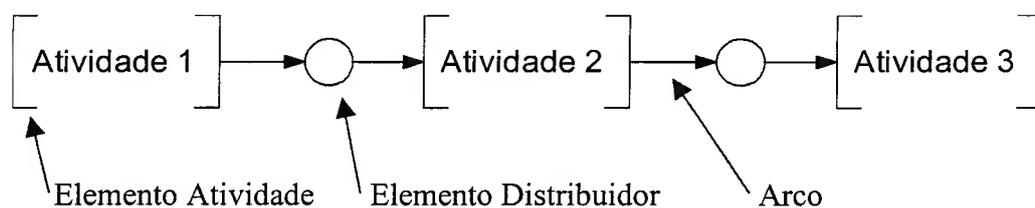


Fig. A1 Exemplo de grafo PFS.

Para que o PFS possa ser utilizado de forma efetiva na modelagem das atividades pertinentes ao processo de síntese de dispositivos de fixação, é necessário estabelecer uma semântica alternativa para os elementos estruturais do PFS. Esta proposta foi adotada, porque o PFS foi originalmente elaborado para ser aplicado no processo de síntese de sistemas de controle de sistemas produtivos.

Considerando-se que o sistema de planejamento de dispositivos de fixação pode ser definido como um Sistema de Informações Dirigido por Eventos, e que o fluxo de informações de um sistema de informações corresponde a um conjunto integrado de etapas de processamento, através de etapas de comunicação, consideramos por analogia, a seguinte interpretação para os elementos estruturais do PFS.

O elemento atividade representa o processamento das informações pertinentes às atividades que constituem o planejamento de dispositivos de fixação, ou seja, corresponde a etapa de processamento.

O elemento distribuidor corresponde a etapa de comunicação entre as etapas de processamento de um sistema de informação, e representa o conjunto de informações de entrada ou saída processadas nas etapas de processamento.

O Arco representa o sentido do fluxo das informações entre etapas de processamento e etapas de comunicação, o que possibilita a organizar de forma estruturada as atividades pertinentes ao planejamento de dispositivos de fixação.

A Figura A2 apresenta os elementos básicos do PFS de acordo com a interpretação proposta.

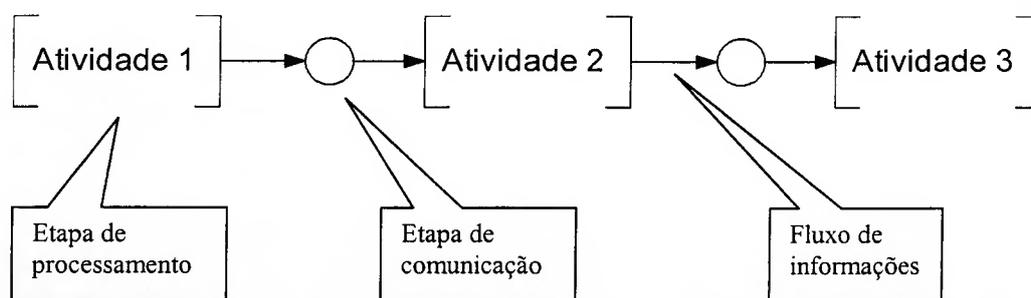


Figura A2 Grafo PFS com interpretação dos elementos básicos.

A.2 Mark Flow Graph (MFG)

O Mark Flow Graph (MFG) é uma técnica derivada da rede de Petri que permite expressar a estrutura de controle de complexos sistemas de controle seqüencial, sendo considerada uma ferramenta poderosa para a descrição eficiente da

estrutura de sistemas, para a descrição do comportamento funcional de sistemas e para a realização do seu controle (SANTOS FILHO, 1993) onde as funções de entrada e saída, a propriedade de “safeness”, livre de contato, etc. são devidamente consideradas, visando a modelagem e o controle dos SED de modo mais simples e eficaz (MIYAGI, 1996).

O MFG é composto pelos seguintes elementos estruturais (Figura A3) (SANTOS FILHO, 1993; MIYAGI, 1996):

- Box: indica uma condição que pode ser associada à disponibilidade de dados ou de um elemento do sistema. É representado por um bloco quadrado.
- Transição: indica um evento que causa uma mudança de estado do sistema. É representado por uma barra vertical.
- Arco orientado: indica a conexão entre elementos boxes e transições. É representado por uma seta. Sendo conectados de forma a indicarem a saída dos “box” e transições são denominados arcos de saída, caso contrário são arcos de entrada.
- Marca: indica a manutenção de uma condição, é representada por um ponto negro no interior do “box”, sendo que a alocação de marcas nos “boxes” constituem sua marcação.
- Porta (arco de disparo, gate): habilita ou inibe a ocorrência dos eventos correspondentes às transições sendo denominada porta habilitadora ou porta inibidora, conforme sua natureza. Estas, por sua vez, podem ser sub-classificadas em porta externa ou porta interna de acordo com a origem do sinal. A porta habilitadora é uma porta que possui um círculo negro na extremidade conectada à transição. Quando o sinal de origem for "1", esta porta habilita a transição em que

está conectada, compondo um AND lógico com as outras condições que determinam a ocorrência do evento correspondente. A porta inibidora é uma porta que possui um círculo branco na extremidade conectada à transição. Quando o sinal de origem for "1", esta porta inibe a transição em que está conectada, compondo um OR lógico com as outras condições que determinam a ocorrência do evento correspondente. A origem do sinal de uma porta interna é um box. Quando existir marcas no box, o sinal é "1"; quando não existir marcas é "0".: A origem do sinal de uma porta externa não faz parte do grafo, ou seja, ela indica a entrada de um sinal binário gerado por algum dispositivo externo.

- Arco de sinal de saída: este arco envia um sinal binário do box para o dispositivos externos do grafo e é representado por uma linha que conecta estes dois elementos. Quando houver uma marca neste "box" o sinal é "1"; quando não houver, é "0".

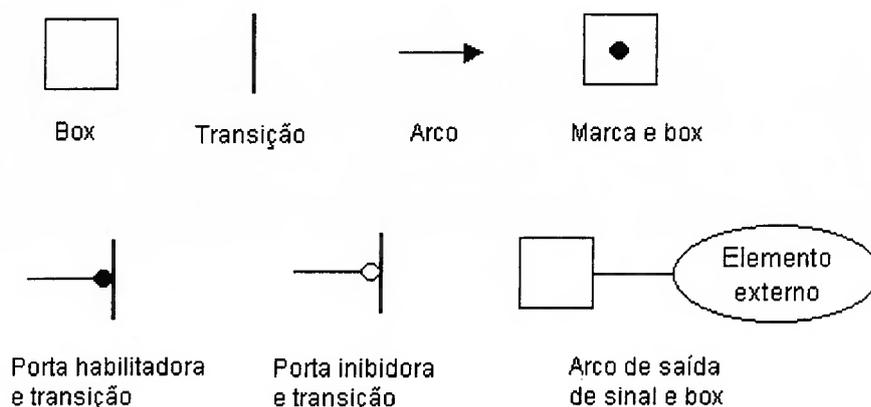


Fig. A3 Elementos estruturais do MFG.

A.2.1 O MFG e o controle de SED

O MFG pode representar o sistema de controle de SED, onde as portas e arcos de sinal de saída fazem a troca de sinais entre o controlador e o objeto de controle, o que determina a evolução do sistema.

Ao se eliminar as portas inibidoras em um grafo MFG, este pode ser considerado como uma rede de Petri Condição / Evento o que faz com que este grafo herde a capacidade de análise e modelagem da rede de Petri.

A.2.2 Marcação e regras de disparo do MFG

A marcação inicial de um sistema modelado em MFG determina o estado inicial deste sistema, sendo que a disposição das marcas num dado instante determina seu estado neste instante.

A evolução das marcas está subordinada à ocorrência de eventos o que caracteriza o comportamento dinâmico do sistema. A ocorrência de eventos corresponde ao disparo de transições.

Uma transição é denominada “transição habilitada” se satisfaz as seguintes condições:

- Todos os “boxes” de entrada estão marcados;
- Todos os “boxes” de saída não estão marcados;
- Todas as portas habilitadoras internas apresentam sinal de habilitação;
- Todas as portas inibidoras internas não apresentam sinal de inibição.

Caso não sejam satisfeitas todas as condições anteriores, a transição é dita “transição desabilitada”.

Uma transição é denominada “transição disparável” se satisfaz as condições abaixo, caso contrário será uma “transição não disparável”:

- Todas as portas habilitadoras externas apresentam sinal de habilitação;
- Todas as portas inibidoras externas não apresentam sinal de inibição.

Para que uma transição possa efetivamente ser disparada, esta deve ser uma “transição habilitada” e ao mesmo tempo uma “transição disparável”.

O disparo de uma transição implica na remoção das marcas de todos os “boxes” de entrada e a alocação de marcas em todos os “boxes” de saída, sendo que esta mudança de estado ocorre instantaneamente.

A.2.3 Elementos estruturais temporizados

Até o momento, o tempo não foi considerado na modelagem de SED, porém este pode ser importante para se representar o tempo de duração de processos. Assim, faz-se necessário introduzir os seguintes conceitos:

- Box temporizados: este “box” retém a marca durante um intervalo de tempo, ou seja, a transição conectada em sua saída fica disparável somente após decorrido este tempo (figura A4).
- Transição temporizada: esta transição (figura A4) só dispara após decorrido um intervalo de tempo, desde que as condições de disparo sejam satisfeitas. No entanto, se durante este tempo, uma ou mais condições deixam de ser satisfeitas,

a contagem de tempo é anulada e assim que todas as condições forem satisfeitas novamente a contagem é reiniciada.



Fig. A4 Elementos estruturais temporizados do MFG

A.3 Functional Mark Flow Graph (F-MFG)

Apesar da capacidade de representação de sistemas dirigidos por eventos, o MFG quando utilizado na representação de sistemas de grande porte onde se deseja maior nível de detalhamento, pode gerar modelos cuja compreensão fique prejudicada e o próprio processo de modelagem se torna uma tarefa estafante.

Para se contornar este problema, é possível modularizar o MFG (também denominado F-MFG Functional Mark Flow Graph [MATSUSAKI, 1998]), ou seja, gerar macro elementos (Figura A5) com base nos elementos estruturais do MFG.

A seguir são apresentados os três módulos básicos:

- Box capacidade: representa um dispositivo de armazenagem com capacidade de armazenar N marcas.
- Box agrupador: representa uma operação de montagem (agrupamento) sendo que n marcas na entrada dão origem a uma única marca na saída.
- Box dispensor: representa uma operação contrária de um “box agrupador” , portanto uma marca na entrada dá origem a n marcas na saída.

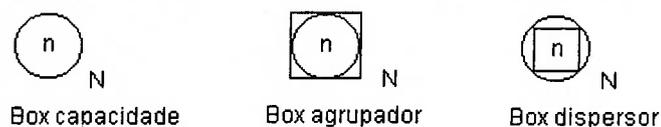


Fig. A5 Elementos estruturais modularizados do MFG

Na Figura A5 , n indica o número de marcas em um “box” enquanto N indica o número máximo de marcas.

A Tabela A1 apresenta as regras de disparo e a sua interação com portas habilitadoras e inibidoras.

	Box capacidade	Box agrupador	Box dispersor
N = capacidade total das marcas n = número de marcas presente			
Condição necessária para disparo de t1	$n < N$	$n < N$	$n = 0$
Condição necessária para disparo de t2	$n > 0$	$n = N$	$n > 0$
Resultado do disparo de t1	$n(\text{depois}) = n(\text{antes}) + 1$	$n(\text{depois}) = n(\text{antes}) + 1$	$n(\text{depois}) = N$
Resultado do disparo de t2	$n(\text{depois}) = n(\text{antes}) - 1$	$n(\text{depois}) = 0$	$n(\text{depois}) = n(\text{antes}) - 1$
N = capacidade total das marcas n = número de marcas presente			
Porta habilitadora indicada por n	Habilita quando $n > 0$		
Porta habilitadora indicada por N	Habilita quando $n = N$		
Porta inibidoradora indicada por n	Inibe quando $n > 0$		
Porta inibidoradora indicada por N	Inibe quando $n = N$		

Tabela A1 Regras de disparo

A.4 Enhanced Mark Flow Graph (E-MFG)

O E-MFG proposto por SANTOS FILHO (1993) é uma ferramenta de modelagem derivada do MFG, é baseada em marcas individuais e regras adicionais para o controle do disparo de transições. O objetivo do E-MFG é aperfeiçoar a capacidade de modelagem do MFG em sistemas de manufatura complexos, que exigem representação de estratégias de controle mais elaboradas, mantendo a simplicidade na representação e interpretação do sistema a partir do modelo.

Os elementos estruturais do E-MFG são derivados do MFG, com inclusão de elementos e alteração dos já existentes. A seguir, são apresentadas as características básicas dos elementos estruturais estendidos:

- Transição: indicam a ocorrência de eventos e permitem inscrições que representam regras adicionais restritivas para a evolução do estado do sistema;
- Arcos orientados: estabelecem uma relação causal entre os eventos e as condições, podem conter inscrições variáveis que controlam a transmissão dos atributos das marcas individuais, determinando os atributos que devem ou não acompanhar a marca após o disparo de uma transição, realizando desta forma, a filtragem seletiva dos atributos das marcas;
- Portas habilitadoras / inibidoras: habilitam ou inibem a ocorrência dos eventos, podendo realizar este controle de maneira mais específica através de inscrições fixas relacionadas aos atributos agregados às marcas;
- Arcos de sinal de saída: transmitem informações aos dispositivos externos relativas ao estado dos atributos de uma determinada marca através da especificação de inscrições variáveis nestes arcos.

- Marcas: indicam a manutenção de uma condição;
- Marcas individuais: estas marcas além de indicar a manutenção de uma condição, também são acompanhadas por um conjunto de atributos os quais podem ser associados a informações referentes ao produto, ao processo e ao controle (Figura A6).
- Marca individual composta: é definida como uma marca que contém os atributos referentes a composição de várias marcas individuais, formando assim uma matriz de atributos em que cada linha corresponde ao vetor de atributos de uma marca individual.
- Box: indicam as pré e pós condições, mantendo a natureza condição-evento do sistema;
- Box capacidade: mantém as características apresentadas no F-MFG, com a adição de regras quanto a ordem de saída das marcas;
- Box agrupador: funciona de maneira análoga ao F-MFG, porém com a possibilidade de preservar as informações dos atributos das marcas que forem agrupados;
- Box dispersor: semelhante ao do F-MFG com a possibilidade de se obter na saída marcas individuais, com os atributos do estado anterior ao agrupamento;
- Box controlador: é um “box” que associa regras do tipo *se...então* para a atualização dos atributos das marcas (Figura A6). Estas regras constituem uma forma de especificação de estratégias de controle para a supervisão das informações que acompanham as marcas;

- Box temporizador: é um “box” de capacidade unitária que retém a marca em seu interior durante um intervalo de tempo que pode ser determinado por um atributo da marca;

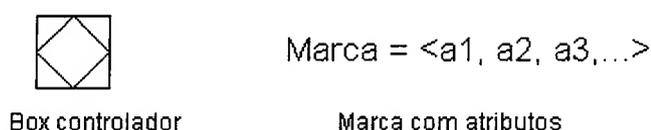


Fig. A6 Elemento estrutural e marca adicionados ao E-MFG

A.4.1 Marcação e regras de disparo do E-MFG

Visto que o E-MFG é uma ferramenta de modelagem derivada do MFG, este herda suas regras básica de disparo de transição, sendo a dinâmica de disparo composta por regras de decisão apresentadas a seguir.

As restrições adicionais de disparo devem ser satisfeitas, visto que são funções lógicas agregadas às transições necessárias para a representação de estratégias de controle específicas. Caso não existam inscrições em uma transição, então não há regras adicionais que limitam o seu disparo.

Uma transição é denominada “transição em prontidão” se obedece as regras das restrições adicionais.

Uma transição é denominada “transição habilitada” se for uma transição em prontidão e satisfaz as seguintes condições:

- Não existem “boxes” de saída com marcas (salvo nos casos onde são utilizados “box” agrupador ou “box” capacidade);
- Não existe “box” no lado de entrada sem marcas ou com marcas com restrições;

- Não existe porta habilitadora interna ou externa que esteja na condição de desabilitada;
- Não existe porta inibidora interna ou externa que esteja na condição de inibição.

Uma transição é denominada “transição disparável ” se for uma transição habilitada e possui as possíveis situações de conflito arbitradas e as condições de filtragem seletiva averiguadas.

Uma transição disparável dispara instantaneamente provocando a remoção das marcas de todos os “boxes” de entrada e a alocação de marcas em todos os “boxes” de saída.

Anexo - B

B.1 Métodos de localização

As regras de localização geralmente encontradas em aplicações práticas são os métodos 3-2-1 e 4-2-1 (BALASUBRAMANIAN, 1999).

Estas regras proporcionam rigidez máxima com número mínimo de componentes. Uma peça é livre para se mover em duas direções opostas ao longo de três eixos simultaneamente perpendiculares entre si, e pode rotacionar nestes eixos tanto no sentido horário quanto no sentido anti-horário. Cada direção de movimento é considerado como um grau de liberdade. Portanto, uma peça possui dose graus de liberdade, como pode ser observado na figura B1 .

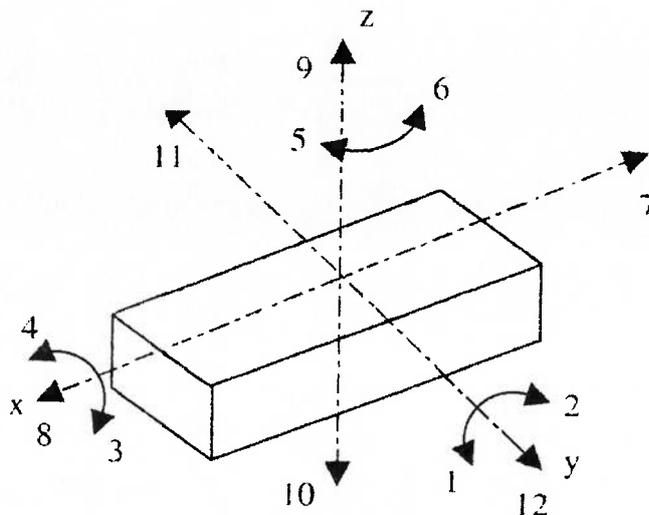


Figura B1 Graus de liberdade.

O método 3-2-1 de localização consiste em se posicionar adequadamente seis pontos (elementos de localização) de forma que estes restrinjam nove graus de liberdade. A figura B2 mostra o método 3-2-1 de localização, o qual possui variações como o método 4-2-1, onde no plano primário de localização são posicionados 4 elementos ao invés de 3 e também o método plano-2-1, onde o plano primário de localização é considerado totalmente em contato com um plano de referência, porém este método é ineficiente nos casos em que seja necessário executar furos ou canais passantes no produto, sendo nestes casos recomendada a utilização dos métodos 3-2-1 e 4-2-1.

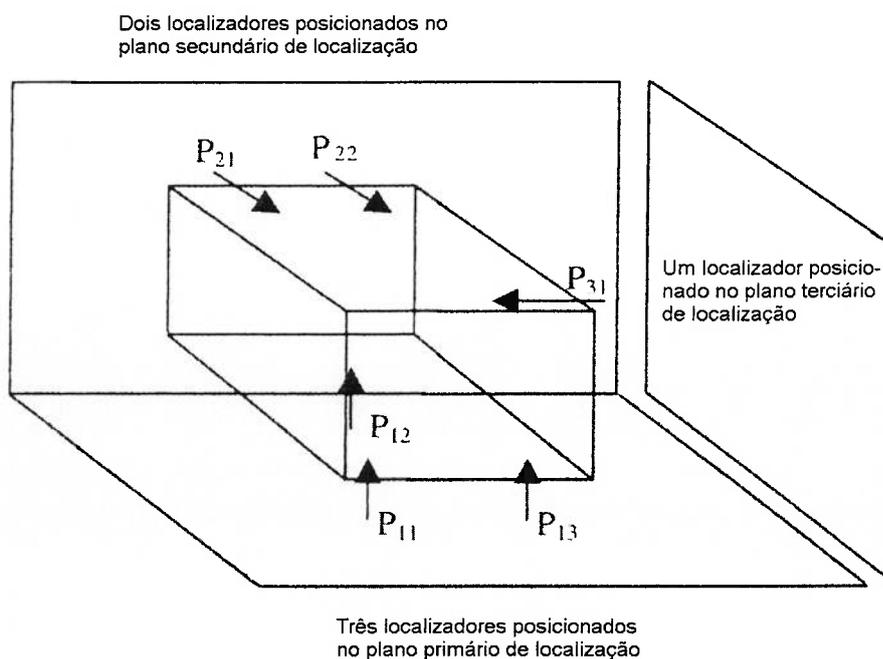


Figura B2 Método 3-2-1 de localização.

Lista de Referências

- AREZOO, B. et al. Selection of cutting tools and conditions of machining operations using an expert system, **Computers in Industry**, n° 42, pp. 43-58, 2000.
- BALASUBRAMANIAN, S. Fixture-based design similarity for variant fixture planning, University of Maryland, Dissertação de Mestrado, 1999. Disponível em: <http://www.isr.umd.edu>
- BUGTAL, N.; YOUNG, R. I. M. Information models in an integrated fixture decision support tool, **Journal of Materials Processing Technology**, n° 76, pp. 29-35, 1998.
- CALVEZ, J. P. Embedded Real-Time Systems. John Wiley & Sons, 1993.
- CAO, X. R.; HO, Y. C. Models of Discrete Event Dynamic Systems, **IEEE Control Systems Magazine**, v. 10, n° 4, pp. 69-76, 1990.
- CARDOSO, J.; VALETTE, R. **Redes de Petri**, Editora da UFSC, Florianópolis, 1997.
- CARPENTER, I. D.; MAROPOULOS P. G. A flexible tool selection decision support system for milling operations, **Journal of Materials Processing Technology**, n° 107, pp. 143-152, 2000.
- CASSANDRAS, C. G. **Discrete Event Systems**, IRWIN, 1993.
- CHANG, C. H. Computer assisted fixture planning for machining processes. **Manufacturing Review**, vol. 5, pp. 15-28, 1992.
- DE METER, E. C. et al. A model to predict minimum required clamp pre-loads in light of fixture-workpiece compliance, **International Journal of Machine Tools & Manufacture**, n° 41, pp. 1031-1054, 2001.

- FANG, B. et al. An Elastodynamic Model of Frictional Contact and its Influence on the Dynamics of a Workpiece-Fixture System, **Journal of Manufacturing Science and Engineering**, v. 123, pp. 481-489, 2001.
- FERNANDES, K. J.; RAJA, V. H., Incorporated tool selection system using object technology, **International Journal of Machine Tools & Manufacture**, n° 40, pp. 1547-1555, 2000.
- HALEVI, G.; WEILL, R. D. **Principles of process planning**, London, Chapman & Hall, 1995.
- HAN J.; ROSEN D., Special panel session for feature recognition at the 1997 ASME Computers in Engineering Conference, **Computer-Aided Design**, v. 30, n° 13, pp. 979-982, 1998.
- HO, Y. C., Special Issue on Dynamics of Discrete Event Systems , **Proceedings of IEEE**, v. 77, pp. 3-6, 1989.
- HUANG Y.; HOSHI T. Improvement of flatness error in milling plate-shaped workpiece by application of side-clamping force, **Journal of the International Societies for Precision Engineering and Nanotechnology**, n° 24, pp. 364-370, 2000.
- HUANG, Z. AN. S.; RONG Y.; JAYARAM S. Development of automated dedicated fixture configuration design systems with predefined fixture component types: part 1, basic design, **Journal of Flexible Automation and Integrated Manufacturing**, n° 7, 1999.
- ITO, Y. A . A diserable production structure looking toward the 21 st century- Anthropocentric Intelligence-Based Manufacturing. In: XI COBEM. **Anais**. Brasil, São Paulo, pp. 23-32, 1991.
- JENG, S. et al , Analysis of minimum clamping force, **Int. J. Mach. Tools Manufact**, v. 35, n° 9, pp. 1213-1224, 1995.

- JENSEN, K. Coloured Petri Nets: Basic Concepts, Analysis Methods and Practical Use. vol. 1, Springer-Verlag, Berlin, 1992.
- JHA, N. K. A set-theoretic automatic selection of cutting tools in manufacturing system, **Journal of Materials Processing Technology**, n° 65, pp. 99-106, 1997.
- JOO, J. et al. Efficient feature-based process planning for sculptured pocket machining, *Computers ind. Engng*, vol. 33, n° 3-4, pp. 493- 496, 1997.
- JUNQUEIRA, j. **Modelagem de sistemas flexíveis de movimentação de materiais através de Redes de Petri interpretadas**. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.
- KALE, M. S.; PANDE, S. S. Automatic planning of machining fixture layouts through geometric reasoning of cad part model, **Flexible Automation and Intelligent Manufacturing Conference**, 2000.
- KEATING, W. G. et al , Intelligent tool selection system, **Journal of Materials Processing Technology**, n° 55, pp. 91-94, 1995.
- KOVÁCS, I.; MONIZ, A. B. Issues on the anthropocentric production systems. In *Internacional Conference on Architectures and Design Methods for Balanced Automation Systems*, **Proceedings**. Ed. By CAMARINHAMATOS, L. M.; AFSARMANESH, H. *Balanced Automation Systems Architectures and Design Methods*, Chapman & Hall, p. 131- 140, 1995.
- KRISHNAKUMAR, K.; MELKOTE, S. N., Machining fixture layout optimization using the genetic algorithm , **International Journal of Machine Tools & Manufacture** , n° 40, pp. 579-598, 2000.
- KUMAR, A. S. et al, The Development of an internet-enabled semi-automated fixture design system, **IEEE/ASME International Conference on Advanced Inteligent Mechatronics Proceedings** , pp 195-200 , 2001.
- KUMAR, A. S.; FUH, J. Y.; KOW T. S. An automated design and assembly of interference-free modular fixture setup, **Computer-Aided Design**, n° 32, pp. 583-

596, 2000.

LEE, J. Y.; KIM, K. A feature-based approach to extracting machining features, **Computer-Aided Design**, vol. 30, n° 13, pp. 1019- 1035, 1998.

LI, B.; MELKOTE S. N. An Elastic Contact Model for the Prediction of Workpiece-Fixture Contact Forces in Clamping, **Journal of Manufacturing Science and Engineering**, v. 121, pp. 485-493, 1999.

LIN, A. C.; WEI C., Automated selection of cutting tools based on solid models, **Journal of Materials Processing Technology**, n° 72, pp. 317-329, 1997.

MARIN, R. A.; FERREIRA, P. M., Optimal placement of fixture clamps, **IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics Proceedings** , pp. 314-319, 2001.

MATSUSAKI, C. T. M. **Redes F-MFG (Functional Mark Flow Graph) e sua aplicação no projeto de sistemas antropocêntricos**. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

MIYAGI, P. E. et al. Sistema de Manufatura: Tendências em modelagem, Análise e projeto. In: **X COBEM**, Anais, Rio de Janeiro, 1989.

MIYAGI, P.E. Controle programável. **Fundamentos do Controle de Sistemas a Eventos Discretos**, Editora Blücher, São Paulo, 1996.

NOGUEIRA, H. S. **Sistemas de informação**, PECE Programa de Orientação Continuada em Engenharia, Universidade de São Paulo, versão 08/2002.

NORELEM, Eléments standard mécaniques, France, édition 09/2002.

NORELEM, Système modulaire, France, édition 1997.

PERREMANS, P. Feature-based description of modular fixturing elements: the key to an expert system for the automatic design of the physical fixture, **Advances in Engineering Software** , n° 25 , pp. 19-27 , 1996.

- RIBEIRO, M. V.; COPPINI N. L. An applied database system for the optimization of cutting conditions and tool selection, **Journal of Materials Processing Technology**, n° 92/93, pp. 371-374, 1999.
- RODRÍGUEZ, L. C.; TSUZUKI, M. S. G. Feature: Um Novo Paradigma em Sistemas CAD/CAM, **XVI Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica**, pp. 243-252, 2001.
- SAKURAI, H., **Automatic setup planning and fixture design for machining**, Tese de Doutorado, Department of Mechanical Engineering, Massachusetts Institute of Technology, 1990.
- SANDIFORD, D.; HINDUJA, S., Construction of feature volumes using intersection of adjacent surfaces, **Computer-Aided Design**, n° 33, pp. 455-473, 2001.
- SANTOS FILHO, D. J. **Aspectos de Projeto do Controle de Sistemas Produtivos**, Tese de Livre Docência, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.
- SANTOS FILHO, D. J. **Proposta do Mark Flow Graph Estendido para a Modelagem e Controle de Sistemas Integrados de Manufatura**. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.
- SANTOS FILHO, D. J., **Controle de Sistemas Antropocêntricos de Produção Baseado em Redes de Petri Interpretadas**, Tese de Doutorado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1998.
- SARMA, S. E.; WRIGTH P. K. Using mechanical hardware to simplify process planning, **Computer Integrated Manufacturing Systems**, vol 11, n° 3, pp. 147 – 155, 1998.
- SHIRINZADEH, B. A cad-based hierarchical approach to interference detection among fixture modules in a reconfigurable fixturing system, **Robotics & Computer-Integrated Manufacturing**, v. 12, n° 1, pp. 41-53, 1996.

- SOUZA, M. A. **Formalização do Planejamento da Fixação de Peças Visando sua Automação**. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.
- WANG, Y. M.; PELINESCU, D. Optimal fixture layout design in a discrete domain for 3D workpieces. **Proceeding of 2001 IEEE International Conference on Robotics & Automation**, pp. 792-798, 2001.
- WANG, Y.F. et al. Off-line modelling and planning of optimal clamping forces for an intelligent fixturing system, **International Journal of Machine Tools & Manufacture**, nº 39, pp. 253-271, 1999.
- WATANABE, R. ; MACHADO, T. C. **Vetores e geometria analítica**, 5ª edição 1996.
- WOO, T. C. Interfacing Solid Modeling to CAD and CAM: Data Structure and Algorithms for Decomposing a Solid, **Computer**, pp. 44-49, 1984.

Bibliografia Recomendada

- CHOUDHURI, S. A.; DE METER, E. C. Tolerance analysis of machining fixture locators, **Journal of Manufacturing Science and Engineering**, vol. 121, pp. 273-281, 1999.
- DE METER, E. C.; CHOUDHURI, S.; VALLAPUZHA, S. An evaluation of a linear clamp pre-load model with respect to milling operations. **IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics Proceedings**, pp. 308-320, 2001.
- HITOMI, K. Manufacturing excellence for 21st century production. **Technovation**, nº 16, pp. 33-41, 1996.

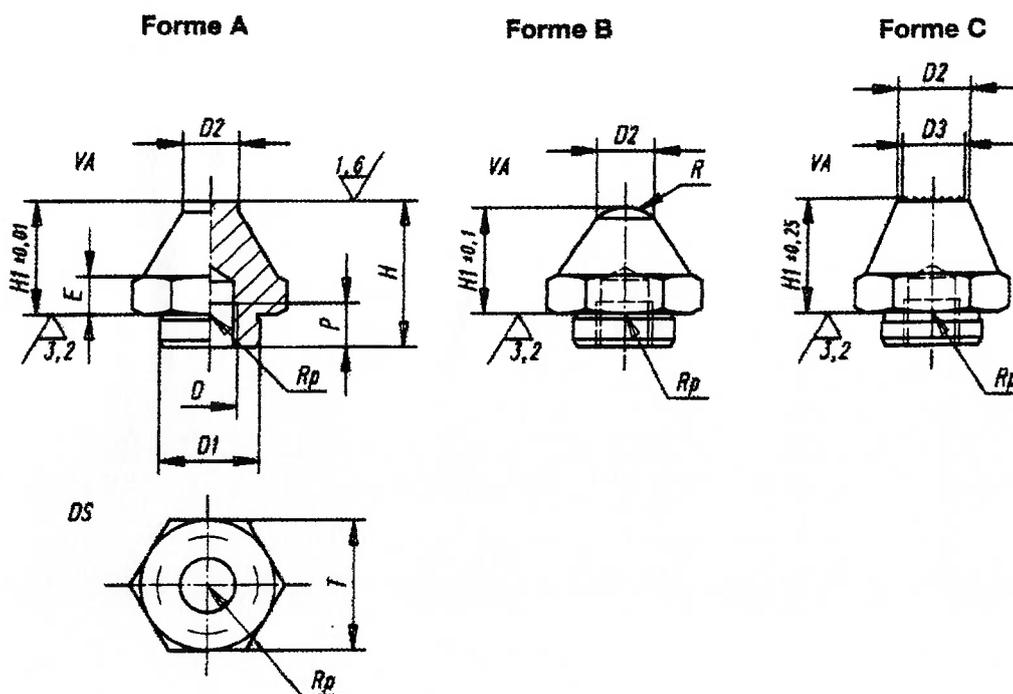
- HOFFMANN, C. M.; ARINYO, R. J. On user-defined features, **Computer-Aided Design**, vol. 30, n° 5, pp. 321-332, 1998.
- ISHII, N.; FUCHINO, T.; MURAKI, M. Life cycle oriented process synthesis at conceptual planning phase, **Computers chem. Engng**, vol. 21, pp. 953-958, 1997.
- KIM, C.; O'GRADY, P.J. A representation formalism for feature-based design, **Computer-Aided Design**, vol. 28, n° 6/7, pp. 451-460, 1996.
- MARKUS, A . Strategies for the automated generation of modular fixture. In **Proceedings Manufacturing International**, Vol. 3, pp. 97-104, ASME, 1988.
- MAROPOULOS, P. G.; BAKER, P. R. Integration of tool selection with design Part 1: Feature creation and selection of operations and tools, **Journal of Materials Processing Technology**, n° 107, pp. 127-134, 2000.
- MAROPOULOS, P. G.; BAKER, P. R.; PARAMOR, K. Y. G. Integration of tool selection with design Part 2: Aggregate machining time estimation, **Journal of Materials Processing Technology**, n° 107, pp. 135-142, 2000.
- MURSEC, B.; CUS, F.; BALIC, J. Organization of tool supply and determination of cutting conditions, **Journal of Materials Processing Technology**, n° 100, pp. 241-249, 2000.
- NEE, A. Y. C. et al. A knowledge-based CAD of jigs and fixture. **SME Technical Paper**, TE85-902, 1985.
- PARIS, H.; BRISSAUD, D. Modelling for process planning: the links between process planning entities. **Robotics and Computer Integrated Manufacturing**, n° 16, pp. 259-266, 2000.
- SOARES, J. B. et al. Petri net tools: um sistema gráfico e aberto de edição e simulação, **XVI Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica (COBEM)**, 2001.

- SONTHI, R.; GADH, R. MMCs and PPCs as constructs of curvature regions for form feature determination, **Computer-Aided Design**, vol. 30, n° 13, pp. 997-1001, 1998.
- WEUSTINK, I. F. et al. A genetic framework for cost estimation and cost control in product design. **Journal of Materials Processing Technology**, n° 103, pp. 141-148, 2000.
- WU, N. H.; CHAN, K. C. A genetic algorithm based approach to optimal fixture configuration, **Computers ind. Engng**, vol. 31, n° 3/4, pp. 919-924, 1996.
- ZHA, X. F., An object-oriented knowledge based Petri net approach to intelligent integration of design and assembly planning, **Artificial Intelligence in Engineering**, n° 14, pp. 83-112, 2000.

Apêndice A

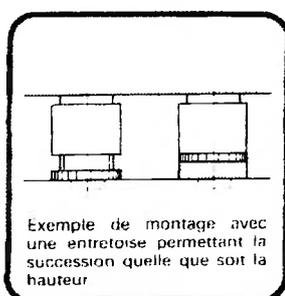
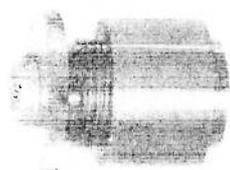
O conjunto de elementos modulares utilizados neste trabalho são comercializados pela empresa Norelem. As características dimensionais dos elementos, ora apresentados, foram extraídas dos catálogos: NORELEM, Eléments standard mécaniques, 09/2002 e NORELEM, Système modulaire, 1997.

Localizadores

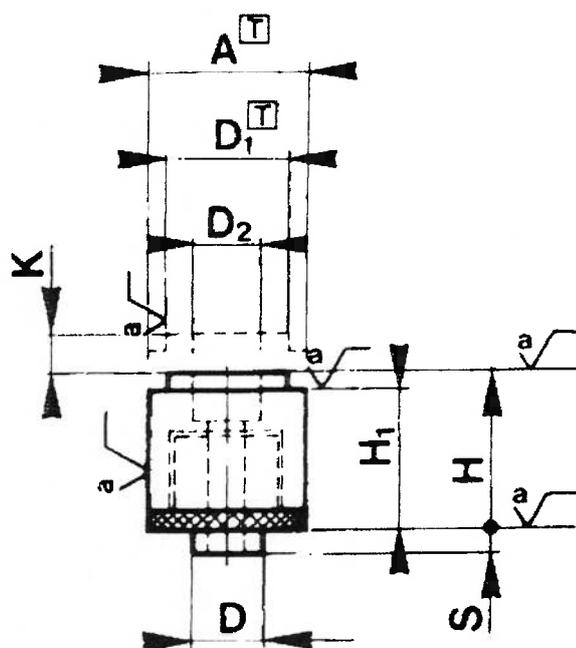


Nouvelle référence			Ancienne référence			D	D ₁	D ₂	D ₃	E	H	H ₁	P	R	T	Δ kg
Forme A	Forme B	Forme C	Forme A	Forme B	Forme C											
02029-108012	02029-208012	-	0208006010	0208006015	-	M 6	12	7	-	4	16,5	12,5	6	6	17	0,042
02029-108025	02029-208025	-	0208006011	0208006016	-	M 6	12	7	-	4	29	25	6	6	17	0,062
02029-110020	02029-210020	02029-310020	0208010010	0208010015	0208010020	M 10	18	10	15	7	25	20	10	7,5	24	0,130
02029-110040	02029-210040	02029-310040	0208010011	0208010016	0208010021	M 10	18	10	10	7	48	40	10	7,5	24	0,180
02029-116030	02029-216030	02029-316030	0208016010	0208016015	0208016020	M 16	26	20	20	13	40	30	16	28	41	0,295
02029-116060	02029-216060	02029-316060	0208016011	0208016016	0208016021	M 16	26	20	20	13	70	60	16	28	41	0,480

Calços de Altura Regulável

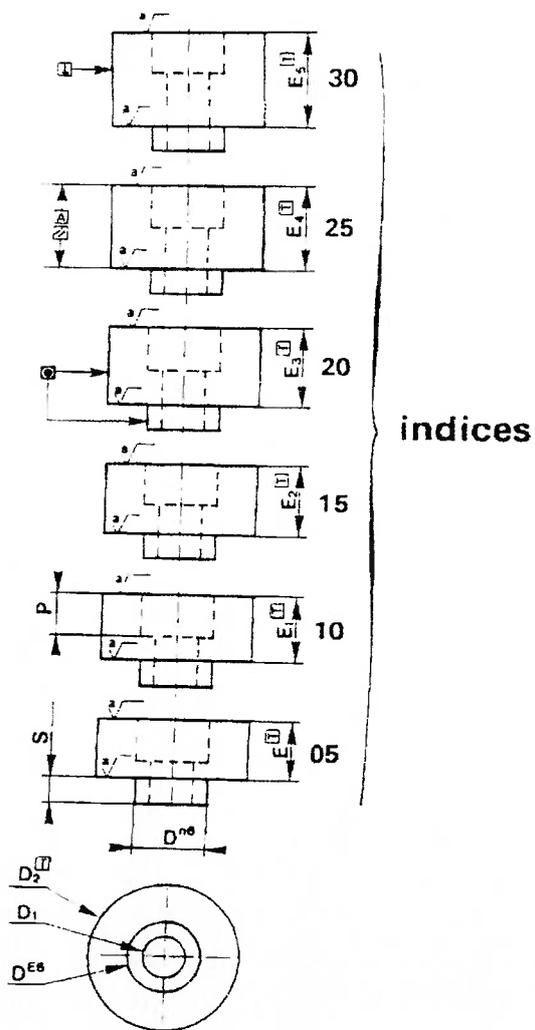


TOLÉRANCES
 √ □ ▢ ▣ ▤ ▥ ▦
 Voir fiche technique
 fin synoptique



NLM	A	D	D ₁	D ₂	H	H ₁	K	S	1 ^{er} gr
2136 006 005	25	12	19	12,2	22	19	5,5	4	70
2136 010 005	40	18	33	18,2	35	30	6,5	6	270
2136 016 005	60	26	44	26,2	52	44	11	10	500

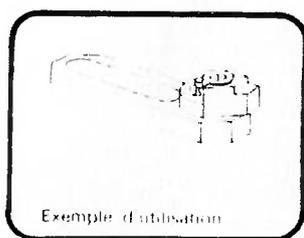
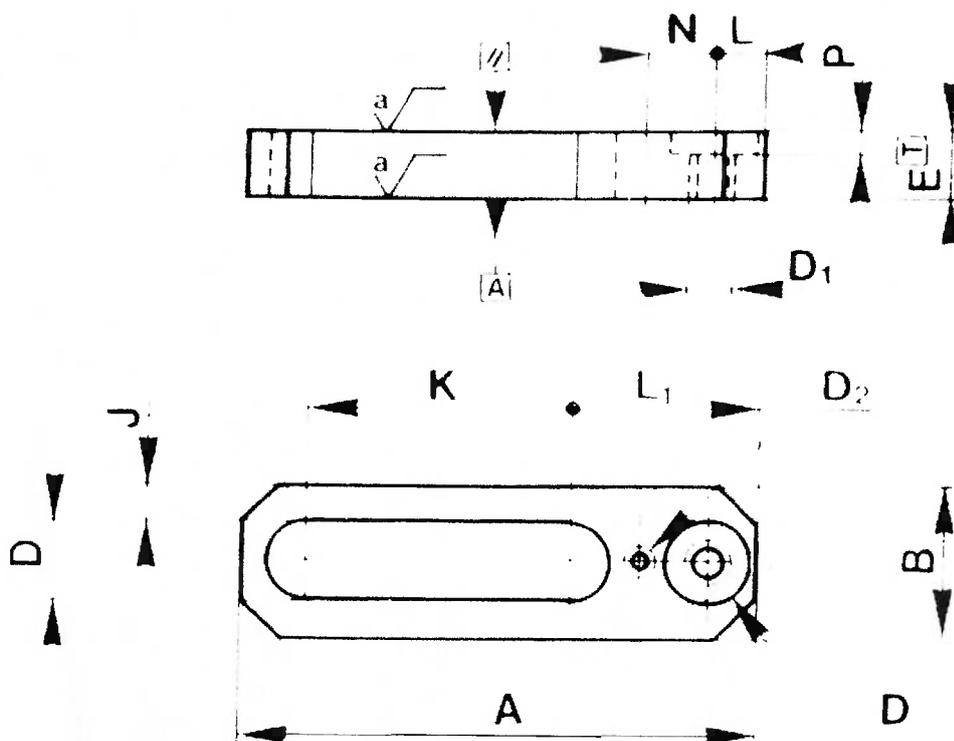
Calços de Altura Fixa



TOLÉRANCES
 √ □ ▢ ▣ ▤ ▥ ▦ ▧
 Voir fiche technique
 fin synoptique

NLM	D	D ₁	D ₂	E	E ₁	E ₂	E ₃	E ₄	E ₅	P	S
				05	10	15	20	25	30		
2118 006 105	12	7	25	6.2	6.4	6.5	6.6	6.7	6.9	4.5	4
2118 006 115	12	7	25	6	8	9	10	11	13	4.5	4
2118 006 125	12	7	25	7	12	23	34	—	—	7	4
2118 010 105	18	11	40	9.9	10.1	10.2	10.3	10.4	10.6	6.5	6
2118 010 115	18	11	40	9	11	12	13	14	16	6.5	6
2118 010 125	18	11	40	10	30	49	50	60	—	11	6
2118 016 105	26	17	60	14.9	15.1	15.2	15.3	15.4	15.6	11	10
2118 016 115	26	17	60	14	16	17	18	19	21	11	10
2118 016 125	26	17	60	40	50	60	70	80	90	17	10

Suporte Universal

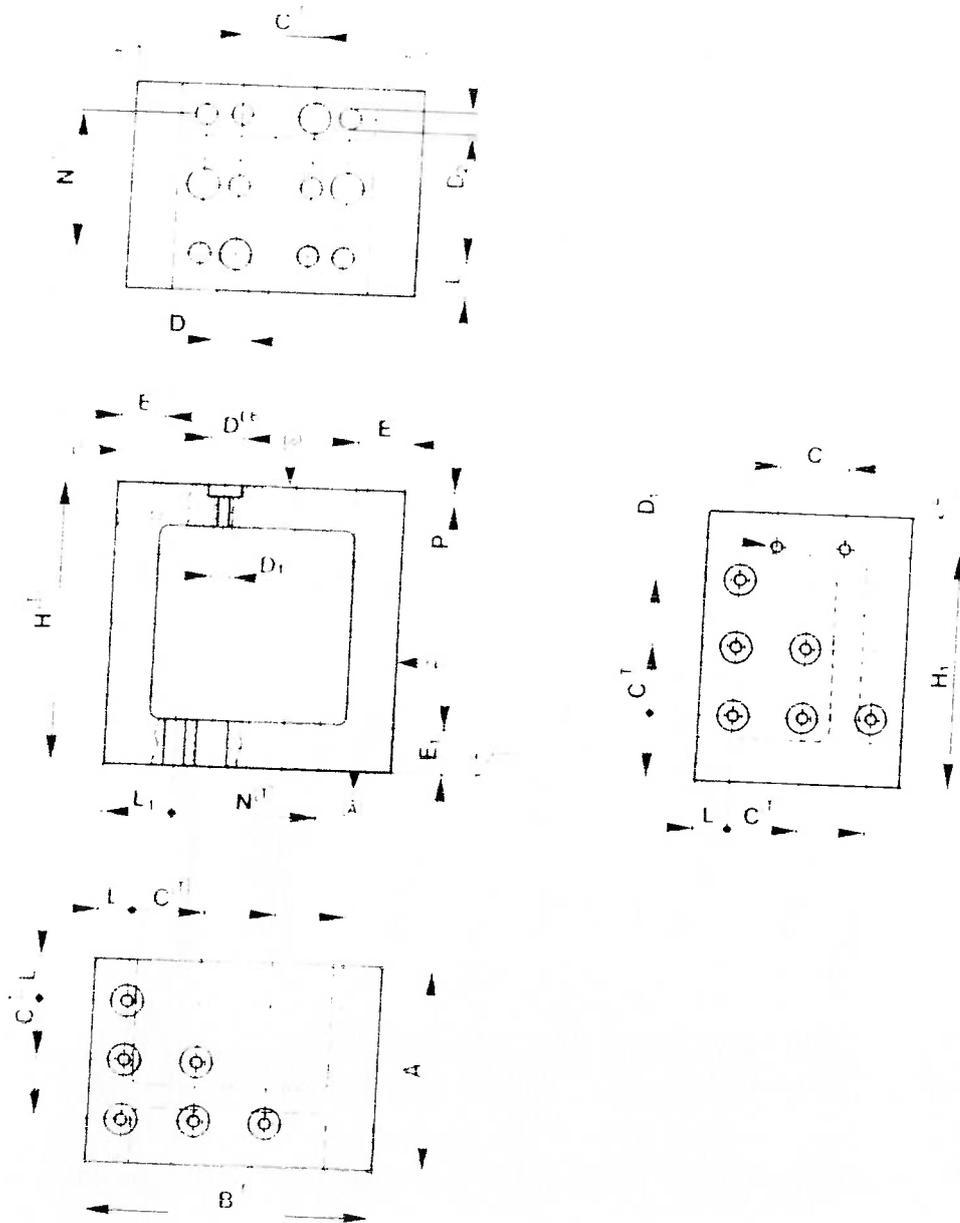


TOLÉRANCES

Voir fiche technique
 fin synoptique

NLM	A	B	D	D ₁	D ₂	E	J	K	L	L ₁	N	P mm	Douille 2720	Vis	l gr
2146 006 003	64	24	12,2	M 6	M 4	12,5	6	25	8	31	10	4	005 016		104
2146 006 005	99	24	12,2	M 6	M 4	12,5	6	50	8	31	10	4	006 016		208
2146 010 003	100	39	18,2	M 10	M 6	20	10	40	12	45	16	6	010 026		440
2146 010 006	140	39	18,2	M 10	M 6	20	10	80	12	45	16	6	010 026		500
2146 016 003	149	59	26,2	M 16	M 8	30	16	60	19	72	25	10	016 040		1520
2146 016 006	209	59	26,2	M 16	M 8	30	16	120	19	72	25	10	016 040		1800

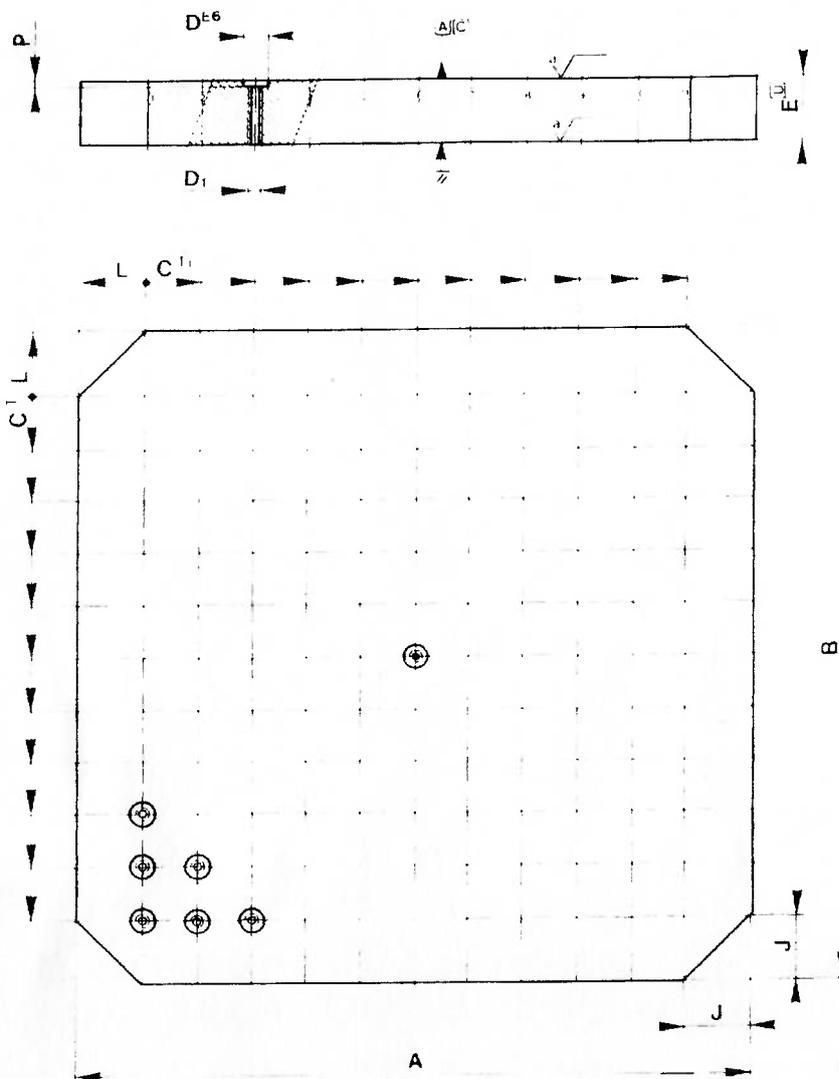
Blocos



TOLÉRANCES
 A () B () C () D () D₁ () D₂ () E () E₁ () H () H₁ () L () L₁ () N () P ()
 Voir fiche technique
 fin synoptique

NLM	A	B	C	D	D ₁	D ₂	E	E ₁	H	H ₁	L	L ₁	N	P mini	Douille 2720...	Vis	kg
2041 006 005	74	100	25	12	M 6	7	20	18	100	87,5	12,5	25	50	4	006 022	*	29
2041 010 006	119	160	40	18	M 10	11	25	24	160	140	20	40	80	6	010 030	*	10,3
2041 016 006	179	240	60	26	M 16	17	40	48	240	210	30	60	120	10	016 056	*	29

Bases



TOLÉRANCES
 Voir fiche technique
 fin synoptique

NLM	A	B	C	D	D ₁	E	J	L	P min:	Rangées de trous	⊗	kg
2006 006 005	250	250	25	12	M 6	35	35	25	4	9	[A]	15
2006 006 010	315	315	25	12	M 6	40	40	32,5	4	11	[A]	27
2006 006 015	400	400	25	12	M 6	45	45	25	4	15	[A]	50
2006 010 010	315	315	40	18	M 10	40	40	37,5	6	7	[A]	27
2006 010 015	400	400	40	18	M 10	45	45	40	6	9	[A]	50
2006 010 020	500	500	40	18	M 10	50	50	50	6	11	[A]	88
2006 010 025	630	630	40	18	M 10	63	60	35	6	15	[A]	177
2006 010 030	800	800	40	18	M 10	70	100	40	6	9	[C]	302
2006 016 020	500	500	60	26	M 16	50	50	70	10	7	[A]	88
2006 016 025	630	630	60	26	M 16	63	60	75	10	9	[A]	180
2006 016 030	800	800	60	26	M 16	70	100	40	10	13	[C]	305