

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

UMA NOVA ESTRATÉGIA DE PROGRAMAÇÃO NC EM
AMBIENTE CAD/CAPP/CAM

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

ALEXANDRE DANTAS PINHEIRO DA SILVA

FLORIANÓPOLIS, SETEMBRO DE 1990

UMA NOVA ESTRATÉGIA DE PROGRAMAÇÃO NC EM
AMBIENTE CAD/CAPP/CAM

ALEXANDRE DANTAS PINHEIRO DA SILVA

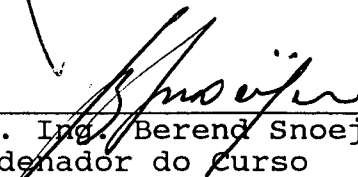
ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE

"MESTRE EM ENGENHARIA"

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

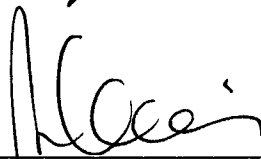


Prof. Abelardo Alvez de Queiróz, Ph.D.
Orientador

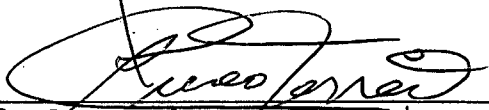


Prof. Dr. Ing. Berend Snoejer
Coordenador do curso

BANCA EXAMINADORA:



Prof. Abelardo Alvez de Queiróz, Ph.D.
UFSC - Presidente



Prof. Aureo Campos Ferreira, Ph.D.
UFSC



Prof. Dr. Ing. Henrique Rozenfeld
USP - São Carlos

A meus pais e meu irmão,
por seu amor.

AGRADECIMENTOS

Ao professor Abelardo Alvez de Queiróz, pelo apoio, exemplo e amizade, além da segurança e experiência como conduziu a orientação do trabalho.

À COPESP, pela oportunidade proporcionada e apoio financeiro concedido para o desenvolvimento da pesquisa. Em particular à pessoa do Engenheiro Carlos Gouvêa, Chefe da Divisão de Fabricação, pela valorização e incentivo a trabalhos desta natureza, além de sua compreensão e estímulo.

Às várias pessoas que direta ou indiretamente participaram e contribuíram para o êxito do trabalho. Em ordem alfabética: Eleni, Rita, Rogério, Sula, Vera ("Ferinha"), Zelândia.

Aos amigos que fiz no decorrer do curso, pelo carinho, respeito e compreensão, tornando a estadia em Florianópolis ainda mais enriquecedora. Em ordem alfabética: Assuiti, Carlos Baixo, Cziulik, José, Laura, Laurênio, Lígia, Moacir, Simone, Ramón.

Especiais ao "guru" Herman, ao "honorável" Jun e ao irmão José Arnaldo, pela amizade inestimável.

Ao pessoal do "Mar de Lama", pelos momentos de descontração.

SUMÁRIO

RESUMO	vii
ABSTRACT	viii
 CAPÍTULO I	
INTRODUÇÃO	1
1.1 COMANDO NUMÉRICO DE MÁQUINAS-FERRAMENTAS	2
1.2 REQUISITOS NA PROGRAMAÇÃO NC	4
1.3 PROPOSTA DE TRABALHO	10
 CAPÍTULO II	
CONCEITOS BÁSICOS DE CAM E PROGRAMAÇÃO NC.	12
2.1 SOBRE CAM: DEFINIÇÕES E APLICAÇÕES	12
2.2 A PROGRAMAÇÃO NC	17
2.3 MÉTODOS DE PROGRAMAÇÃO NC.	21
2.3.1 A Programação Manual Clássica	21
2.3.2 Entrada Manual de Dados (MDI)	25
2.3.3 Programação Assistida por Computador.	30
2.3.4 Programação Via Sistemas Gráfico-Interativos.	38
2.4 ESCOLHA DO MÉTODO DE PROGRAMAÇÃO	47
 CAPÍTULO III	
A INTEGRAÇÃO CAD/CAPP/CAM.	49
3.1 RAMOS DO DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO	49
3.2 PROJETO E REPRESENTAÇÃO DE UM PRODUTO.	51
3.2.1 Projeto Orientado à Fabricação.	53
3.2.2 Projeto Auxiliado por Computador (CAD).	55
3.2.2.1 Modelamento Geométrico e Representação de Dados.	58
3.2.2.2 Macros e "Features".	60
3.2.2.3 Parametização no Projeto	63
3.2.2.4 Arquivos gráficos.	66
3.3 CONCEITOS DE PLANEJAMENTO DO PROCESSO E CAPP	69
3.3.1 Planejamento do Processo Auxiliado por Computador (CAPP).	71
3.3.2 Técnicas de CAPP.	73
3.4 PROGRAMAÇÃO NC INTEGRADA A SISTEMAS CAD E CAPP	79
3.4.1 O Ciclo CAD/CAPP/CAM.	79
3.4.2 Problemas na Integração CAD/CAPP/CAM.	81
3.4.3 Alguns Sistemas de Programação NC Existentes.	83
 CAPÍTULO IV	
DESENVOLVIMENTO DE UMA METODOLOGIA	87
4.1 CARACTERIZAÇÃO CONCEITUAL.	87
4.2 ESTRUTURA E CARACTERÍSTICAS DO MODELO PROPOSTO	90
4.3 ESTRATÉGIA DE SOLUÇÃO.	94
4.3.1 Projeto Orientado à Fabricação.	95

4.3.2 Os Arquivos Intermediários.	97
4.3.3 O Processador de Uma Etapa.	100

CAPÍTULO V

DETALHAMENTO DO MODELO PROPOSTO.	103
5.1 O AMBIENTE CAD-NC PARA FURAÇÃO	103
5.1.1 Determinação do Zero-Peça (ZP).	104
5.1.2 Parametrização Geométrica das Grades de Furos	105
5.1.3 Planos de Corte para Determinação das Trajetórias das Ferramentas	116
5.1.4 Definição Geométrica dos Furos.	117
5.1.5 Geração Automática do Desenho dos Furos	118
5.1.6 Funções de Manipulação.	122
5.1.7 Gravação dos Dados em Arquivos Gráfico.	127
5.2 INTERPRETAÇÃO DO ARQUIVO GRÁFICO DE SAÍDA DO CAD	128
5.3 GERAÇÃO DO PROGRAMA NC	131
5.3.1 Definição do Comando a Ser Utilizado.	131
5.3.2 Entrada de Dados Referentes à Máquina-Ferramenta.	133
5.3.3 O Processador NC.	133

CAPÍTULO VI

IMPLEMENTAÇÃO.	140
6.1 DEFINIÇÃO DOS RECURSOS	140
6.2 ESTRUTURA DO SISTEMA	141
6.3 DESCRIÇÃO DO SISTEMA	148
6.3.1 O Desenho da Peça	148
6.3.1.1 Definição do Zero-Peça e Plano de Retração Global	148
6.3.1.2 Construção dos Desenhos dos Furos.	149
6.3.1.3 As Funções de Manipulação.	156
6.3.1.4 Gravação de Dados no Arquivo Gráfico	156
6.3.1.5 Acesso aos Programas Paramétricos.	158
6.3.1.6 Os "menus" Gráficos.	158
6.3.2 Geração do Arquivo IGES	159
6.3.3 Análise e Extração dos Dados do Arquivo IGES.	161
6.3.4 Preparação de Dados Geométricos ao CAM.	164
6.3.5 Geração do Programa NC.	166
6.4 OPERAÇÃO DO SISTEMA.	168
6.4.1 Criação do Desenho no CAD	172
6.4.2 Criação do Plano de Processo.	184
6.4.3 Geração do Programa NC.	185

CAPÍTULO VII

CONCLUSÕES	192
7.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	196
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	198
APÊNDICE A: UM EXEMPLO APLICADO.	211

RESUMO

Neste trabalho é abordado o problema específico da integração da programação NC a sistemas CAD e CAPP. Inicialmente, desenvolve-se um estudo dos conceitos e técnicas de projeto, planejamento do processo e fabricação auxiliadas por computador, analisando-se os principais aspectos envolvidos na integração CAD/CAPP/CAM. Este estudo serve de base para a proposta de uma solução particular, aplicada a operações de furação. A solução proposta, implementada sob a forma de um sistema informatizado, utiliza um CAD comercial para microcomputadores para entrada de dados geométricos. A representação gráfica dos furos é criada com auxílio de programas paramétricos, incorporados à estrutura do CAD em questão. Os dados geométricos, tratados como formas à base de "patterns", baseados no conceito de "macros" e "features", são armazenados no modelo geométrico da peça e extraídos através de interpretação do arquivo gráfico no formato padrão IGES. Os dados tecnológicos necessários ao programa NC são fornecidos por um sistema CAPP desenvolvido na própria UFSC. O sistema de programação, a partir da interpretação dos arquivos de dados geométricos e tecnológicos, provê soluções de seqüenciamento do processo e codificação do programa, com inserção automática dos valores dos parâmetros de corte, levando em consideração critérios de minimização do número de trocas de ferramentas e otimização de seus percursos.

ABSTRACT

This work deals with the specific problem of integration between NC programming and CAD/CAPP systems. Initially, a theoretical study of the concepts and technics related to design, process planning and manufacturing is developed, with regard to the main aspects involved in CAD/CAPP/CAM integration. This study will be used as a basis for a particular solution, applied to drilling operations. For geometrical data input, the proposed solution utilizes an industrial CAD software which performs in microcomputers systems. The graphic representation of the holes is created by execution of parametric programs integrated to CAD original structure. The geometrical data are treated as patterns, based on "macros" and "features", and stored in the geometrical model created by the CAD system. Data are then extracted by analysis of the graphic file in IGES neutral format and stored in intermediate random files, remaining available to NC programming system. The technological data are furnished by a CAPP system developed at UFSC. By analysis of geometric and technological data intermediate files, the NC programming system defines process sequence and NC code, taking into account tool changes number minimization and tool path optimization criteria. Also, values of cutting conditions are automatically entered in the NC program.

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

Ao contrário de trinta anos atrás, quando a indústria tendia para a produção em massa, atualmente há uma tendência para uma diminuição acentuada do tamanho dos lotes. Naquela época, soluções para o aumento da eficiência e da produtividade só eram alcançadas para o caso de indústrias de produção em série, pois, entre outros fatores, o custo da "automatização rígida", exemplificada pelas "Linhas Transfer", podia ser rateado pelo grande número de peças. Também o gerenciamento da produção era por demais facilitado pela pouca diversificação.

Devido, principalmente, às influências de mercado, houve um aumento significativo da fatia de empresas que trabalham na produção de bens em lotes pequenos ou médios. Atualmente, 70% dos produtos fabricados nos países industrializados são produzidos em lotes de menos de 50 unidades [1]. Esta variedade crescente de produtos exige ainda uma demanda por bens cada vez mais especializados, adaptados a condições específicas. Estes fatores levam a ciclos de vida cada vez menores, ou seja, a uma obsolescência prematura destes bens. Se a estes fatores somarem-se as pressões e prazos de entrega, tem-se a noção exata da complexidade da tarefa de gerenciamento de uma empresa [2]. Neste quadro, o aumento da produtividade passa a estar intimamente ligado à capacidade de reação da empresa a todas as influências acima descritas.

As empresas, portanto, na tentativa de manter alto grau de competitividade, são levadas a uma flexibilização objetivando:

- diminuição dos custos;
- produção de peças muitas vezes complexas;
- adequado dimensionamento dos lotes de produção;
- ciclos de produção mais curtos;
- produtos de maior qualidade.

Estas exigências mercadológicas, em conjunto com o rápido desenvolvimento da informática, fizeram surgir a tendência para a busca da "automatização flexível", que, por ser de equacionamento bastante complexo, tem motivado grande esforço em pesquisas no desenvolvimento de tecnologias que possam atender a todos estes quesitos.

1.1 COMANDO NUMÉRICO DE MÁQUINAS-FERRAMENTAS

Dentro do conjunto de tecnologias envolvidas, o NC ("Numerical Control") perfaz papel fundamental, já que foi o responsável direto pela introdução, na automatização industrial, do conceito de flexibilidade. Pode ser definido como um "equipamento eletrônico capaz de receber informações por meio de entrada própria, compilar estas informações e transmití-las em forma de comando à máquina-ferramenta, de modo que esta, sem a intervenção do operador, realize as operações na seqüência programada" [3]. Deve-se ao NC o grande impulso tecnológico sofrido pelo ramo da fabricação, causando uma reformulação total dos critérios de produção até então em vigor.

Desde a apresentação da primeira máquina-ferramenta com comando numérico, ocorrida no MIT ("Massachusetts Institute of Technology") em 1952, a tecnologia NC experimentou um acelerado

processo de desenvolvimento. Os primeiros modelos de comandos NC surgiram como soluções dedicadas, projetadas e concebidas para atender necessidades específicas de máquinas-ferramentas também específicas. A cada função ou comando disponível associava-se um determinado arranjo de elementos de hardware. Recursos adicionais impunham a instalação de novos elementos, o que muitas vezes aumentava demasiadamente o custo do equipamento.

No início dos anos 70 surgiram os primeiros Comandos Numéricos Computadorizados (CNC). Estes modelos eram dotados de uma unidade programável de controle (minicomputador de aplicação genérica) e de uma unidade de memória, ambas residentes na estrutura do comando. Estes elementos substituíam muitos dos circuitos de lógica fixa dos antigos comandos, por uma lógica programável, armazenada na própria memória do computador. Não mais existia tão intensa relação de dependência entre recursos disponíveis no comando e elementos de hardware instalados. Estes recursos, assim como grande parte das funções ou comandos adicionais eram fornecidos sob a forma de software. Isto contribuiu para um significativo aumento das potencialidades dos comandos, sem, no entanto, implicar em grandes diferenciais de custo.

O desenvolvimento da tecnologia do silício proporcionou que os minicomputadores até então utilizados fossem gradativamente substituídos por microcomputadores, tornando o CNC compacto e integrado à estrutura da máquina-ferramenta.

O paralelo aumento da capacidade de processamento do CNC e o surgimento de microprocessadores especializados fizeram com que se distribuísse as funções a serem executadas entre diversos

microprocessadores. Isto permitiu que muitas das funções críticas pudessem ser processadas em paralelo pela unidade de controle.

Os modelos de comando CNC hoje disponíveis no mercado, seguem basicamente este conceito. Hoje em dia emprega-se novamente o termo "NC" para designar os comandos atuais.

Por outro lado, o desenvolvimento da tecnologia NC provocou um significativo aumento do volume de trabalho na programação da produção. Buscou-se uma evolução no processo de geração de programas NC, na tentativa de otimizar a tarefa do programador. Muitos métodos foram propostos e utilizados. Partindo da programação totalmente manual, passou-se à programação assistida por computador, através de processadores poderosos. Com o aparecimento dos computadores pessoais, muitos softwares de apoio à programação foram desenvolvidos, em paralelo a uma tendência de programação diretamente na máquina (MDI - "Manual Data Input").

Com o intuito de se otimizar etapas do ciclo projeto/manufatura de um produto, alguns aspectos dos ramos tecnológicos foram integrados, originando o conceito CAD/CAM ("Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing"). Sistemas CAD/CAM permitem que muitos aspectos da programação NC possam ser integrados e automatizados.

1.2 REQUISITOS NA PROGRAMAÇÃO NC

É de se esperar que a programação NC se constitua em uma tarefa:

- fácil (que requeira pouco treinamento por parte dos profissionais envolvidos);

- rápida (desenvolvida em um espaço de tempo que não comprometa a produtividade do sistema de produção como um todo);
- rica e poderosa (que a linguagem de programação ofereça recursos que atendam as necessidades existentes);
- confiável (que gere poucos erros e acuse os eventuais erros de programação).

O alcance destes objetivos é de suma importância, uma vez que a viabilidade econômica da aplicação das máquinas com CNC depende, em grande escala, da qualidade do processo de obtenção dos programas. Por sua vez, a produtividade da programação relaciona-se a fatores como:

- recursos do comando CNC;
- capacidade e recursos dos softwares de apoio à programação;
- disponibilidade de pessoal experiente.

A nível do comando CNC, observa-se que os dois aspectos que mais têm merecido a atenção dos fabricantes são [4]:

- implementação de novos recursos de programação;
- aumento da capacidade de comunicação e integração do comando, afim de preencher os requisitos impostos pelos modernos sistemas flexíveis de manufatura.

A habilidade do programador em utilizar eficientemente os recursos de software existentes nos comandos atuais pode ser um fator importante para o aumento da produtividade de sistemas de fabricação à base de tecnologia NC. Já no início da última década, os comandos CNC ofereciam recursos como [5, 6]:

- memória não volátil;

- compensação de dimensões de ferramentas ("part dimension programming");
- ciclos fixos;
- programação de zona de segurança;
- subrotinas etc.

A tendência estabelecida para a programação diretamente na máquina-ferramenta (MDI) fez com que os fabricantes de comandos se empenhassem em oferecer recursos que facilitassem esta tarefa. Houve um acentuado aprimoramento da interface operador/CNC. Surgiram inovações como:

- recursos gráficos;
- repetição de "patterns";
- rotação, escalamento e espelhamento;
- diferentes tipos de interpolação;
- diagnósticos etc.

Recursos gráficos auxiliam o operador principalmente na visualização e verificação da tarefa programada, através de simulação gráfica, minimizando os "try-outs", quase sempre dispendiosos. Além disso, são ferramentas indispensáveis à operação do comando, tendo em vista o alto grau de interatividade dos modelos atuais.

Em contrapartida, tarefas específicas e repetitivas (usinagem de cavidades, grades de furos etc.) foram embutidas sob a forma de ciclos mais avançados, provocando reduções significativas no número de blocos de programação para determinados trabalhos. Isto resulta em otimizações nos programas

e melhor utilização da memória do comando, aumentando a produtividade da programação.

Em algumas situações, entretanto, os ciclos disponíveis nos comandos podem não atender as necessidades reais dos usuários, e o programador deve lançar mão de métodos alternativos. Alguns comandos CNC, para resolver este problema, provêem recursos para o usuário escrever seus próprios ciclos. Para tanto, alguns fabricantes de comandos têm desenvolvido linguagens para escrita de software, que permitem a implementação desses novos recursos [6].

Algumas características em comum entre os comandos atuais e os primeiros modelos NC ainda persistem. A principal é a linguagem entendível pelos comandos. A linguagem mais difundida é ainda o "código G", especificado pelos padrões EIA RS-274 e ISO 6983-88 que, apesar de similares, são implementações distintas.

O "código G" foi originalmente projetado para ser simples e flexível. Com o passar do tempo, foi acrescido de inúmeras funções com intuito de simplificar a programação. Extensões do "código G" têm contribuído para facilitar a descrição dos movimentos das ferramentas, não só através da introdução de estruturas de programação, como "loops", "ifs", macros e subrotinas, mas também através da ocupação, por parte dos fabricantes de comandos, dos códigos deixados livres pelas normas [7]. Por outro lado, todas estas extensões fazem com que o "código G" se distancie de seu objetivo primordial de flexibilidade, ao originar implementações incompatíveis entre si. Apesar destes inconvenientes o "código G" dispõe de grande base estabelecida, além de ser bastante respeitado.

Existem algumas tentativas no sentido de equacionar os problemas de diversidade, portabilidade e velocidade de processamento na tradução para a máquina. Dentre estas tentativas, destaca-se o padrão EIA RS-494 - "32 Bit Binary Cutter Location Exchange Input Format for Numerically Controlled Machines" [8], conhecido pela acrografia "BCL", que tem se mostrado bastante promissor. Estudos mais aprofundados sobre esta proposta de padronização de linguagem de programas NC podem ser vistos em [9, 10, 11].

O campo de aplicação do comando numérico tem sido bastante ampliado. Máquinas-ferramentas com CNC são agora também utilizadas compondo sistemas flexíveis de manufatura. Novos requisitos de integração são impostos aos CNC e aí residem os maiores problemas. Existem limitações relacionadas, tanto a recursos de software, quanto à arquitetura e configuração dos comandos, causando problemas de caráter operacional e de comunicação para a implantação de modernos sistemas de produção. Análise destes pontos foge, no entanto, ao escopo do trabalho, podendo ser vista em [7, 12, 13].

Outro aspecto da questão relaciona-se aos recursos dos softwares de apoio à programação NC.

A adoção de filosofias de integração da manufatura - CIM ("Computer Integrated Manufacturing") tem provocado uma tendência no sentido de se transferir a programação NC para o ambiente de escritório. Além disso, busca-se automatizá-la e dotá-la de recursos que proporcionem sua integração a outras atividades, como projeto, planejamento do processo, controle de qualidade etc. Neste enfoque, o apoio de ferramentas computacionais à geração dos programas NC torna-se fundamental.

Ao longo dos anos surgiram inúmeras filosofias de programação assistida, impulsionadas pelo desenvolvimento da informática. No entanto, surgiram problemas, alguns ainda por serem equacionados e que serão em parte comentados no capítulo dois. Grande parte desses problemas relaciona-se aos aspectos tecnológicos intrínsecos aos processos de usinagem. Estas falhas podem ser minimizadas pela integração entre projeto, planejamento do processo e manufatura, tendência já observada com o surgimento dos sistemas de planejamento do processo auxiliado por computador (CAPP de "Computer Aided Process Planning"). Com este tipo de integração, dá-se um passo significativo para a quebra das barreiras de comunicação entre as tecnologias auxiliadas por computador, visando em última instância a Manufatura Integrada por Computador (CIM).

Outro aspecto a ser analisado relaciona-se com a disponibilidade de mão-de-obra experiente para a atividade de geração dos programas NC.

A disseminação da tecnologia NC provocou uma grande demanda por bons programadores. Na grande maioria das indústrias, independente do método de programação que esteja sendo utilizado, estes profissionais perfazem, também, o papel de processistas. Além da codificação do programa propriamente dita, cabe ao programador tarefas como determinação do processo de fabricação de uma peça, escolha de ferramentas e dispositivos de fixação, cálculo de parâmetros de corte etc. Profissionais com este perfil estão cada vez mais raros, tornando fundamental o desenvolvimento e/ou compra de meios adequados de apoio à programação, na tentativa de se evitar que esta tarefa se transforme em mais um "gargalo" do processo produtivo.

1.3 PROPOSTA DO TRABALHO

Esta análise contextual justifica o desenvolvimento de um amplo estudo, visando fornecer subsídios para a síntese, proposta e implementação de um modelo de programação NC que contemple todas as etapas do processo de elaboração dos programas.

O principal objetivo do trabalho é dar uma contribuição no sentido de uma maior integração entre a programação NC e as atividades de projeto e planejamento do processo. Para tanto, o modelo de programação será estruturado de forma a ter seus dados de entrada (geométricos e tecnológicos) fornecidos por sistemas CAD e CAPP, respectivamente. Pretende-se com isto dar maior sistematização à programação NC, visando a obtenção, ao final, de um programa NC mais consistente, tanto do ponto de vista geométrico da programação, quanto do ponto de vista tecnológico do processo de usinagem.

A este objetivo principal se associa a intenção de se obter um aumento de produtividade na atividade de geração dos programas NC. Tendo em vista que os dados geométricos da peça a ser programada serão fornecidos por um sistema CAD, torna-se necessário um aumento da velocidade de obtenção do desenho da peça. Este ganho pode ser obtido com a aplicação do conceito de projeto orientado à fabricação, discutido no capítulo três, exemplificado através da parametrização de entidades geométricas em ambiente CAD.

Paralelamente, pretende-se obter uma otimização do programa NC gerado, através da busca de uma linguagem concentrada, baseada em macroprogramação. O modelo proposto contempla este aspecto, fazendo uso de ciclos fixos disponíveis na grande maioria

dos comandos CNC. Em complementação, visa-se uma diminuição do tempo principal através, principalmente, da minimização do número de trocas de ferramentas e otimização de seus percursos.

O trabalho será estruturado de forma a abordar todos os conceitos envolvidos na programação NC e sua integração a sistemas CAD e CAPP. Será dividido em quatro partes principais:

- a) no capítulo dois são abordados os conceitos de Fabricação Auxiliada por Computador (CAM), abrangendo-se a programação NC, através de conceituação, descrição e análise comparativa dos métodos existentes para geração de programas NC.
- b) no capítulo três são apresentados os principais aspectos envolvidos nas integrações do projeto e do planejamento do processo com a fabricação. Primeiramente, cada tecnologia (CAD e CAPP) é analisada separadamente, através de conceituação básica. A seguir, descreve-se um ciclo ideal de programação NC integrada a sistemas CAD e CAPP e apontam-se os principais problemas que cerceiam esta integração. Ao final são apresentados e analisados os principais sistemas de programação NC disponíveis na literatura.
- c) os capítulos quatro, cinco e seis dedicam-se, respectivamente à caracterização, detalhamento e implementação do modelo proposto, finalizando com a apresentação de um exemplo prático que ilustre seus principais aspectos operacionais, além de testá-lo em toda a sua potencialidade.
- d) finalmente, no capítulo sete, são apresentadas as principais conclusões obtidas com o desenvolvimento do trabalho, assim como sugestões para trabalhos futuros.

CAPÍTULO II

CONCEITOS BÁSICOS DE CAM E PROGRAMAÇÃO NC

Este capítulo discorre sobre a fabricação auxiliada por computador e programação NC. Inicialmente desenvolve-se um estudo conceitual sobre CAM, a partir da apresentação de uma definição formal e delimitação de seus principais campos de aplicação. A partir daí, o trabalho se concentra na função do CAM relacionada ao comando numérico, através de conceituação, apresentação, descrição e análise comparativa de cada método de geração de programas NC.

2.1 SOBRE CAM: DEFINIÇÕES E APLICAÇÕES

Apesar de ser considerada uma das tecnologias auxiliadas por computador em mais avançado estágio de maturação (figura 2.1), ainda perduram divergências a respeito da formalização de uma definição de CAM, bem como do grau de abrangência de suas aplicações.

Conforme Groover [14], CAM pode ser definido como o "efetivo uso do computador no planejamento, gerenciamento e controle da manufatura". O autor estabelece uma divisão das aplicações de CAM em duas categorias:

- planejamento da manufatura;
- controle da manufatura.

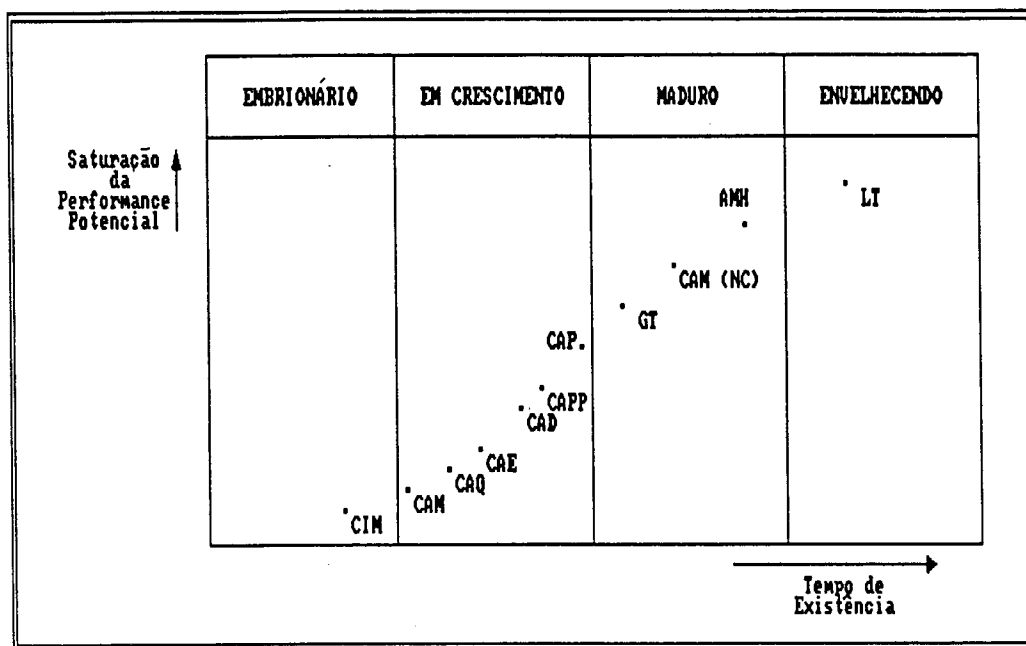


Figura 2.1- Grau de amadurecimento das tecnologias baseadas em computador para automação industrial [12].

Enquadram-se na primeira categoria aquelas aplicações onde o computador é utilizado no suporte da produção, sem conexão direta com o processo. Destacam-se aqui funções como estimativas de custos, CAPP, programação NC assistida, balanceamento de linha, planejamento da produção e inventário etc. A segunda categoria abriga as aplicações relacionadas ao gerenciamento das operações em ambiente de produção. Neste caso, há conexão direta entre o computador e o processo produtivo. Exemplos de funções enquadradas nesta categoria são: controle e monitoramento do processo, controle de qualidade etc. Incluem-se aqui elementos como as unidades de montagem, máquinas CNC, robôs, unidades de manipulação, sistemas flexíveis de manufatura (FMS) etc.

De outra forma, Doll e Vonderembse [15] definem CAM como "a aplicação da informática e da tecnologia de comunicações para intensificação da manufatura, através da utilização do comando

numérico, monitoramento do processo produtivo e "feedback" automático para operações de controle".

Trata-se de uma linha de pensamento mais voltada aos aspectos de caráter operacional da manufatura, englobando predominantemente elementos de controle em ambiente de produção. Deixam implícito o enquadramento de atividades de preparação da produção como, por exemplo, a programação NC, visto que também não a inserem no escopo de funções atribuídas ao planejamento do processo.

Em contrapartida, Puente [16] define CAM como "o uso do computador no controle e supervisão das tarefas que constituem o processo de fabricação". Engloba, entre outras funções, a elaboração dos programas de produção diários ou para cada turno. Além disso, são atribuições do CAM a organização do trabalho de máquinas e instalações, verificação da disponibilidade de materiais e meios de produção, gestão dos pedidos de armazenamento e transporte de materiais em função da programação estabelecida, controle e supervisão da fabricação e montagem nas diversas áreas da produção etc. Estas atividades são desenvolvidas com base nos dados fornecidos pelo planejamento e controle da produção.

Trata-se de uma visão estritamente operacional de CAM, ou seja, privilegia atividades que se desenrolam no ambiente de produção e as unidades que compõem o sistema de produção propriamente dito (máquinas CNC, robôs, FMS etc.).

As definições acima citadas dão idéia das diversas correntes de pensamento existentes na literatura. Por exemplo, enquanto Groover propõe uma definição mais ampla, inclusive considerando como atribuições da fabricação funções como o planejamento do processo e o controle de qualidade, Puentes

destaca estas funções, fazendo forte aproximação conceitual entre CAM e FMS. Destaca-se a diferença de tratamento dispensado ao CAPP e à programação NC. Como foi visto, a primeira linha de pensamento propõe que ambas as funções façam parte do contexto da fabricação. Por outro lado, a segunda vertente vê estas funções como elementos associados à engenharia (CAE), deixando ao CAM a execução e controle de tarefas preferencialmente de caráter operacional. Esta discussão gera outra indefinição, esta com respeito à programação NC, tarefa ora atribuída ao CAPP [17, 18, 19] ora ao CAM [14, 20, 21]. Em outros estudos, a separação das tarefas relacionadas ao CAPP e ao CAM não é tão visível, provocando superposições ou duplicação de funções [22]. Outras definições de CAM podem ser vistas em [1, 21, 23, 24]

Apesar de todas estas divergências, a literatura aponta no sentido da formação de um núcleo de funções unanimemente aceitas no escopo de aplicações e elementos de CAM. Destacam-se preferencialmente as aplicações relacionadas ao controle e monitoramento do processo e o conjunto de unidades que compõem o sistema produtivo propriamente dito (unidades de fabricação, transporte e manipulação, medição, controle etc.)

Neste trabalho, seguindo a linha proposta por Lepikson [12], considerar-se-á como CAM o agrupamento de todas as atividades e elementos físicos e lógicos (hardware e software) diretamente relacionadas ao gerenciamento da fabricação. Esta definição contempla tanto as funções relacionadas à preparação da fabricação (planejamento e programação), quanto as funções envolvidas na operação e controle do processo produtivo.

Dentro de uma estrutura integrada, o CAM se posiciona na intersecção dos fluxos das informações de produto e de planejamento e operação da produção (figura 2.2).

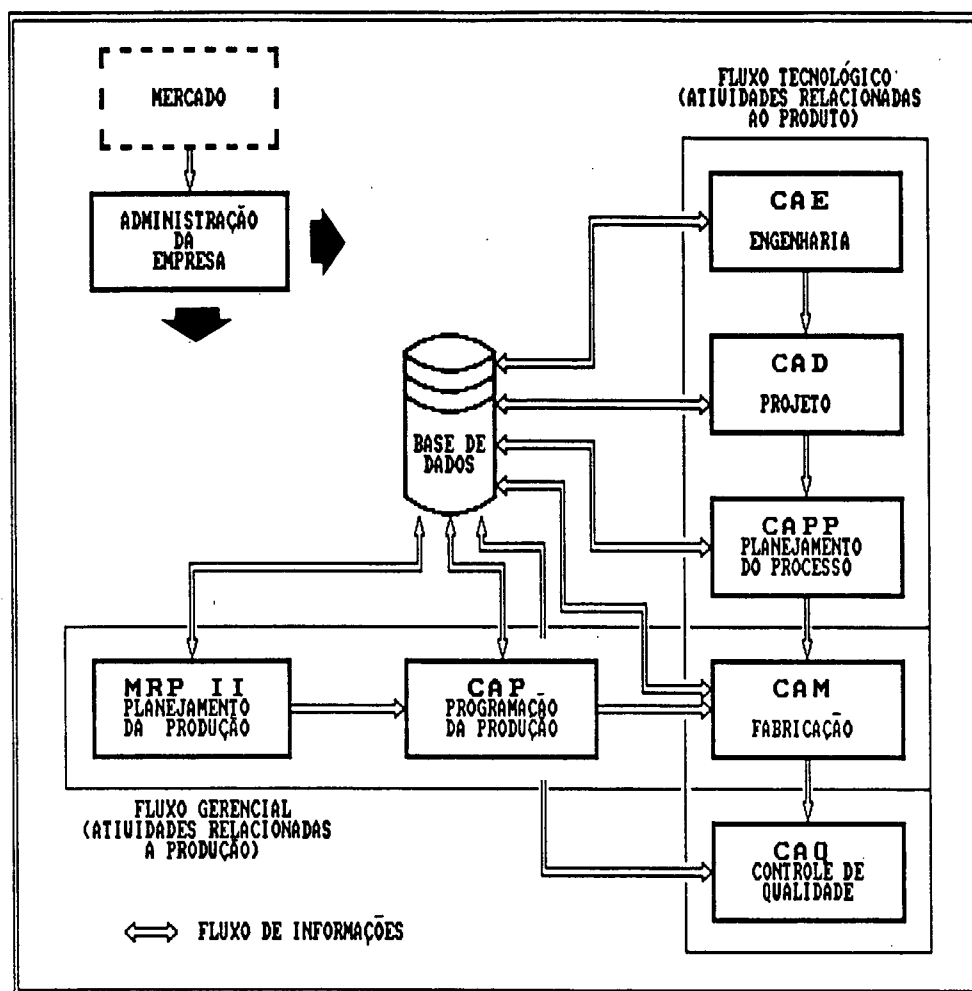


Figura 2.2- Posicionamento do CAM em uma estrutura integrada [12].

A atuação do CAM divide-se em duas fases. Na primeira fase (preparação) desenvolvem-se as atividades resultantes da emissão de ordens de produção e planos de processo. As ordens de produção estabelecem prioridades e prazos para a linha de produção, enquanto que os planos de processo, por sua vez, orientam a execução das diversas operações seqüenciais de cada tarefa da produção. Incluem-se na fase de preparação: geração dos

programas NC, simulações, pós-processamento, gerenciamento de arquivos de programas e comunicação (DNC).

A segunda fase (execução) envolve o controle do processo de fabricação, monitorando e garantindo a operação de todo o sistema (máquinas NC, "linhas transfer", robôs, células de manufatura etc). As funções de controle diretamente relacionadas à qualidade, dada sua importância, são destacadas do CAM e atribuídas ao CAQ ("Computer-Aided Quality").

2.2 A PROGRAMAÇÃO NC

Pode-se dizer que a origem do conceito de máquina programável via software, que tem na máquina CNC um clássico exemplo de aplicação, reside na formalização do conceito do "computador de von Newman". Até então, os computadores ou calculadoras eram máquinas rígidas, onde as instruções que governavam o processamento a ser executado sobre os dados numéricos eram armazenados sob a forma de dispositivos físicos, fazendo parte da estrutura da máquina. De acordo com os princípios de J. von Newman, era possível instruir estes dispositivos a executar variados tipos de processamento, que pudessem ser formulados em termos numéricos. Isto foi viabilizado através da aplicação do conceito de programa armazenado ("stored-program concept") por ele formalizado. Foram, então, criadas linguagens de programação para codificação destas instruções [25].

No caso da tecnologia NC, o processo se deu de forma análoga. Foram criadas linguagens para codificação da seqüência de instruções que governariam os movimentos das máquinas NC. A elaboração desta seqüência codificada de instruções é, pois,

atividade de suma importância, intrínseca à operação de sistemas de fabricação que têm como base o comando numérico. A figura 2.3 ilustra o procedimento para usinagem em máquinas-ferramentas comandadas numericamente. Observa-se uma grande dependência de todo o sistema com a atividade de elaboração dos programas NC.

A programação NC pode ser definida como "o conjunto de atividades envolvidas na preparação da seqüência codificada de instruções que será introduzida no sistema comando/máquina, para que este, com a movimentação relativa ferramenta/peça, produza o componente para o qual foi programado" [27, 28, 29]. Este conjunto de instruções compõe-se basicamente de informações geométricas e tecnológicas, como geometria do percurso de cada ferramenta, seqüência de cortes individuais, codificação das ferramentas, valores dos parâmetros de corte etc. A figura 2.4 ilustra, de forma geral, as etapas a serem cumpridas no processo de elaboração de um programa NC, independente do método de programação empregado.

O caráter heterogêneo e a amplitude dos dados envolvidos na atividade de elaboração dos programas provocam a necessidade de integrar a programação NC a outras atividades relacionadas à produção, tais como:

- projeto e planejamento do processo, assegurando que as especificações do projetista e do processista sejam interpretadas corretamente;
- produção, assegurando que o operador da máquina NC tenha entendido o programa e que cumprirá o que nele estiver estabelecido, executando alterações apenas com a ciência do programador;
- controle de qualidade, onde o pessoal deve estar ciente das

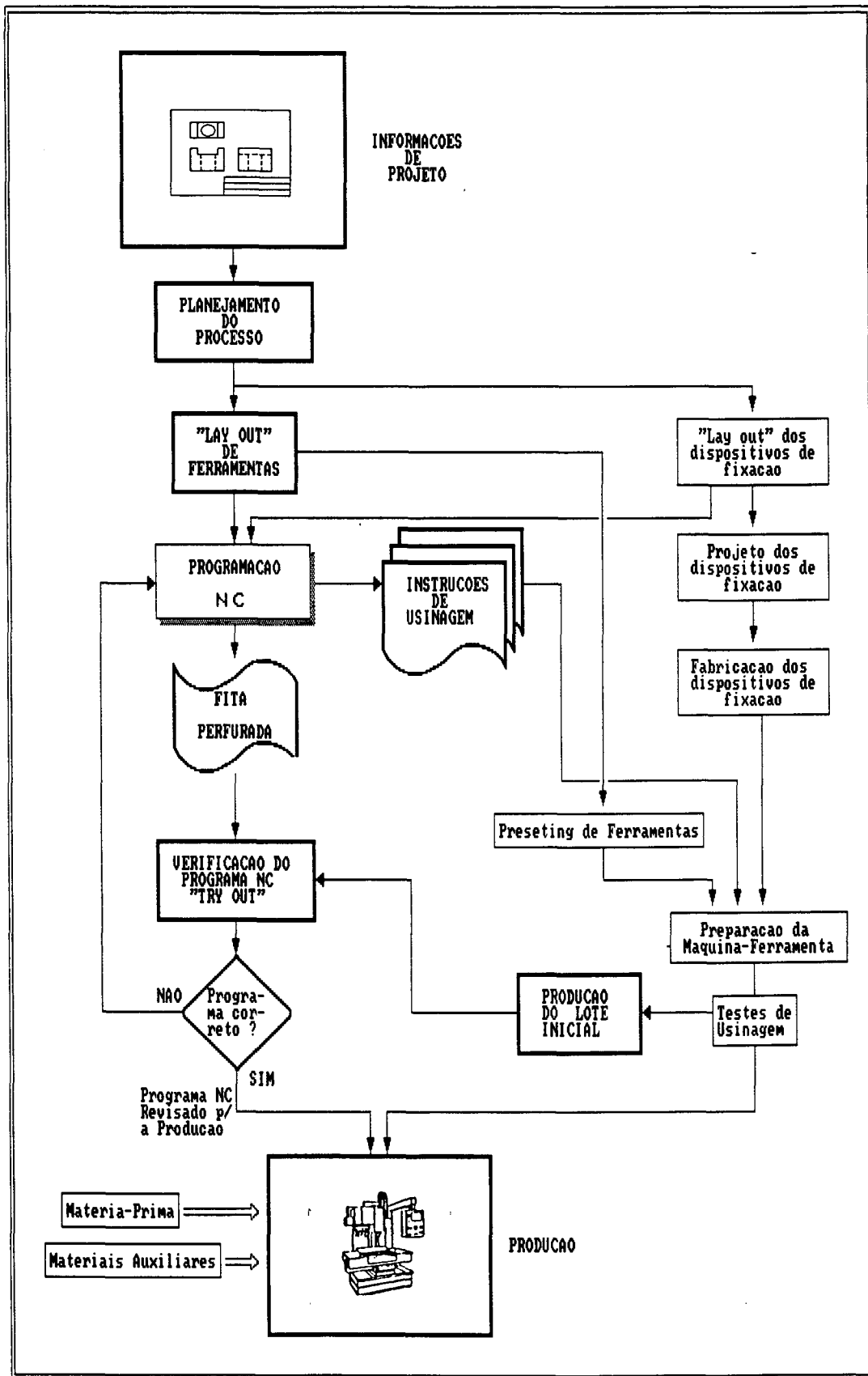


Figura 2.3- Procedimento para usinagem utilizando-se sistemas NC [26].

tolerâncias especificadas pelo projeto, processadas pelo planejamento do processo e pela programação NC e obtidas pela fabricação.

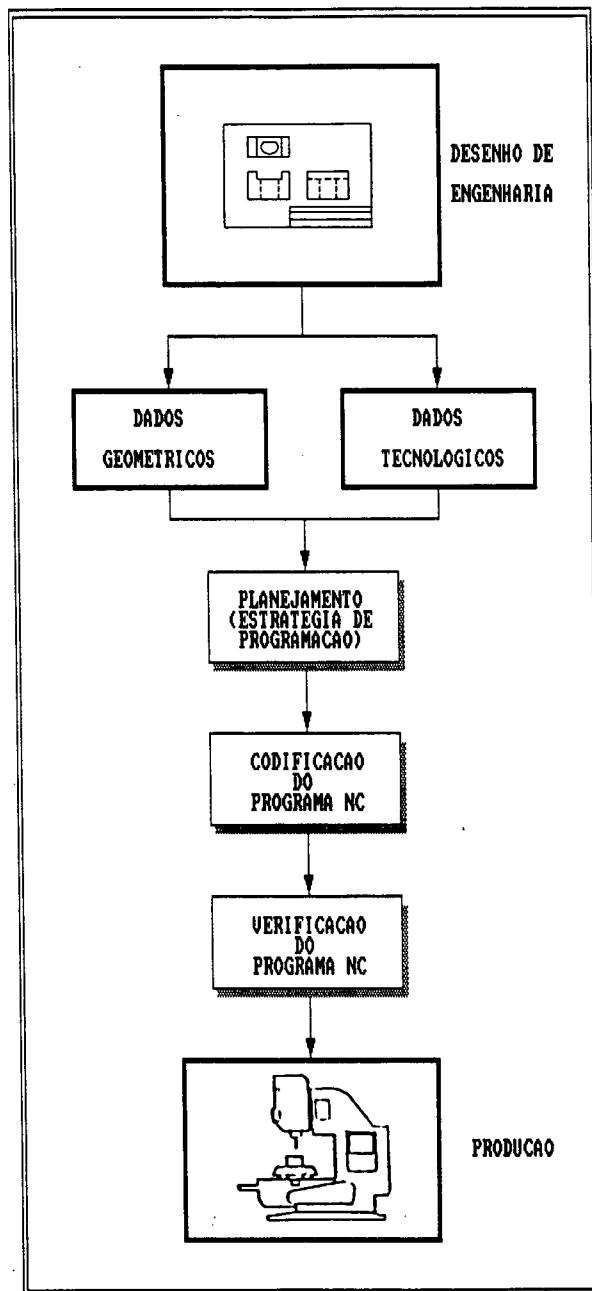


Figura 2.4- Procedimento genérico para geração de um programa NC.

2.3 MÉTODOS DE PROGRAMAÇÃO NC

A flexibilidade proporcionada pela utilização da tecnologia NC implica em um aumento substancial do volume de trabalho na programação da produção. Na medida em que a utilização econômica de máquinas NC depende sobretudo da qualidade e eficiência de sua programação, tem-se procurado um maior nível de automatização do processo de elaboração dos programas.

Com o passar dos anos, muitos métodos de programação surgiram e grandes desenvolvimentos podem ser sentidos, tanto na criação do programa NC propriamente dito (recursos e produtividade da programação), quanto com relação a sua documentação, comunicação com a máquina-ferramenta e arquivamento [14].

A seguir desenvolver-se-á um estudo relacionado aos principais métodos de programação NC existentes, definindo-os, descrevendo-os e analisando-os comparativamente.

2.3.1 A programação manual clássica

Neste método, o programador, a partir da interpretação de informações do produto e do desenho da peça, programa a peça, codificando-a diretamente na linguagem do comando CNC a ser utilizado. Trata-se, ainda, do método mais utilizado pela indústria, mesmo apresentando pequena produtividade, dependendo da tarefa. Ainda hoje, 25% das empresas americanas, que utilizam a tecnologia NC, produzem seus programas exclusivamente pelo método manual [30]. A figura 2.5 mostra os passos básicos para geração de um programa NC utilizando-se este método.

Cabe salientar que no caso de uma empresa que possua tanto máquinas NC quanto convencionais, a programação se inicia quando da análise das características das peças para determinação do tipo de equipamento a ser utilizado. As peças que melhor se adaptam à tecnologia NC são aquelas caracterizadas por algumas das seguintes situações [27]:

- alta complexidade;
- tempo de preparação elevado;
- tolerâncias apertadas;
- formarem lotes pequenos ou médios, com repetições durante certo período;
- envolvimento em desenvolvimento de protótipos;
- materiais caros e com alta possibilidade de refugo.

Se uma empresa possui apenas máquinas NC, a análise anteriormente citada é dispensada, passando-se à escolha da(s) máquina(s) a ser(em) utilizada(s). Devem ser levados em consideração tanto recursos disponíveis dos processos e das máquinas, quanto custos inerentes e critérios de seleção, pois sub-utilização de equipamentos sofisticados como as máquinas NC onera ainda mais a produção.

Um primeiro aspecto a ser observado é a sobrecarga imposta ao programador neste tipo de programação. Em muitos casos, seu trabalho se sobrepõe ao do processista. Sua tarefa compreende a tradução em movimentos das ferramentas, das formas geométricas representadas no desenho, passando pela preocupação com a distribuição detalhada dos passes, em função das características cinemáticas das máquinas e do modelo de fixação das peças. Deve também conhecer perfeitamente, não só as características da

máquina, como também do CNC que a equipa, verificar a compatibilidade das ferramentas e dispositivos em relação ao equipamento escolhido e ao tipo de peça a ser fabricado, determinar operações e sub-operações e valores dos parâmetros de corte.

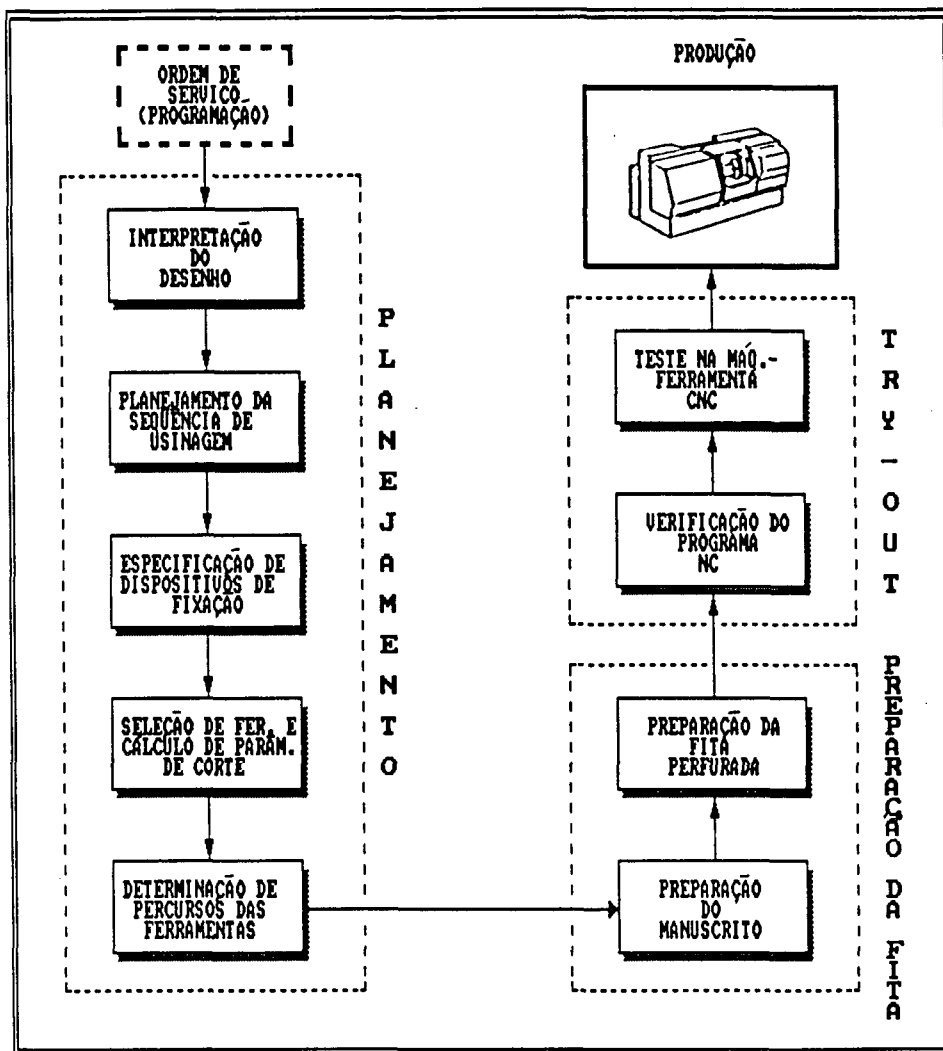


Figura 2.5- Etapas do processo de geração de programas NC pelo método manual clássico.

Esta sobrecarga tanto pode gerar erros na programação como, por outro lado, dependência da empresa à figura de um programador, que passa a deter a tecnologia de fabricação. A

experiência adquirida não permanece no sistema de programação, quando tal programador deixa a empresa. Isto traz problemas na medida que o ritmo de formação de novos programadores não acompanha a demanda do mercado.

Com relação ao desenrolar das tarefas, alguns problemas podem surgir já na etapa de interpretação do desenho. Nem sempre são observados procedimentos de cotagem favoráveis à aplicação do NC, fazendo com que o programador perca muito tempo na determinação da trajetória das ferramentas, devido aos cálculos necessários, muitas vezes tediosos, predispondo ao aparecimento de erros.

Não menos complexa é a tarefa de planejar a seqüência de usinagem, exigindo do programador vasto conhecimento e experiência prática. A peça pode exigir um grande número de passes que têm que ser devidamente detalhados, pois estes dados não podem ser diretamente extraídos do desenho de engenharia.

Com todos os dados geométricos e tecnológicos coletados e determinados, parte-se para a elaboração do manuscrito. Surgem, nesta etapa, algumas limitações pelo fato da programação manual ser voltada à máquina e não à peça. Um programa NC criado para um determinado par comando/máquina, dificilmente pode ser utilizado em outro equipamento, sem sofrer alterações e/ou adaptações. Além disso, as diferenças existentes entre os vários modelos de CNC disponíveis no mercado, principalmente no que diz respeito às peculiaridades das linguagens e recursos, praticamente obrigam os programadores a se especializarem em determinado modelo de comando.

O trabalho do programador não se encerra com a elaboração do manuscrito. Grande parte do seu volume de trabalho

relaciona-se às etapas posteriores de verificação e otimização de um programa já desenvolvido. Estas etapas podem adicionar custos muito altos à peça, se não racionalizadas ou sistematizadas com auxílio de ferramentas computacionais. Os métodos de verificação disponíveis, à base de "try-outs", são altamente custosos por desviarem a máquina-ferramenta de suas funções de produção.

Concluindo, pode-se dizer que este método deve ser preferencialmente utilizado em casos onde [31, 32]:

- valores de coordenadas possam ser retirados diretamente do desenho ou calculados de modo simples;
- o CNC ofereça ciclos de usinagem que possam ser diretamente programados em forma de "códigos G";
- os programas sejam muito longos ou complicados para aplicação da programação diretamente na máquina;
- haja pequena variação entre novos programas, como no caso da produção de famílias de peças;
- se tenha peças de geometria simples.

2.3.2 Entrada manual de dados (MDI)

Trata-se de um método que transfere a tarefa de elaboração dos programas NC do escritório para a máquina. O operador da mesma entra com os comandos de programação diretamente no CNC da máquina, sem a necessidade de preparação de outros elementos externos, como fita perfurada, cassete etc [14, 31]. A figura 2.6 ilustra os passos básicos na preparação de programas NC via MDI ("Manual Data Input").

A entrada manual de dados objetiva simplificar a preparação dos programas pela eliminação de alguns de seus passos.

Objetiva também diminuir os custos de organização e pessoal. Este método é mais encontrado em pequenas indústrias, onde o emprego da tecnologia NC é feito sem reestruturação organizacional [33].

Enquanto a programação manual se baseia na movimentação das ferramentas, o método MDI baseia-se nos dados da peça, retirados diretamente do desenho de engenharia. Assim, o programa

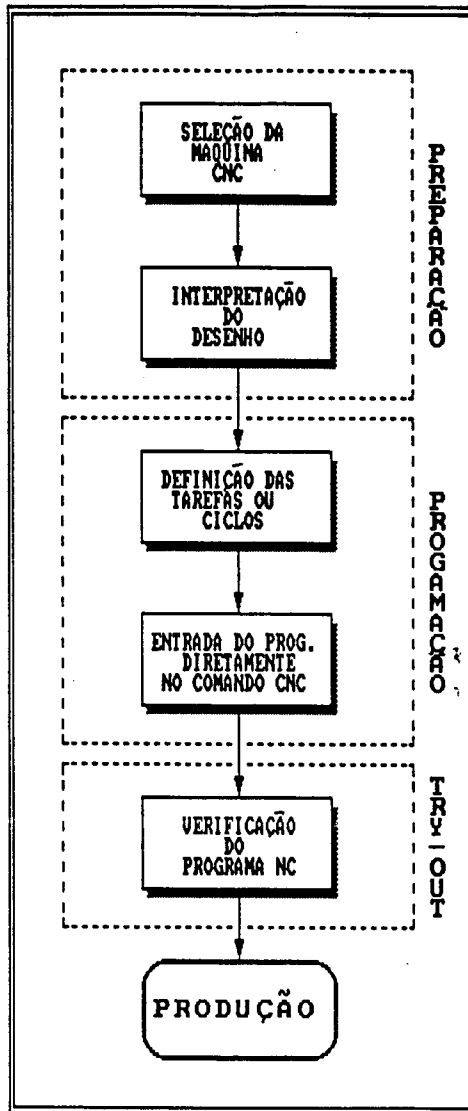


Figura 2.6- Etapas da programação MDI.

é definido em função de tarefas ou estágios de trabalho (ciclos, macros e subrotinas) [33, 34], poupando o programador dos cálculos citados anteriormente, para a determinação da trajetória das

ferramentas. Comandos CNC projetados para programação MDI caracterizam-se por uma decomposição estrutural de funções relacionadas à programação e ao controle (figura 2.7). Esta clara divisão torna exequível a programação simultânea à operação da máquina-ferramenta. Isto faz com que os CNC dedicados à entrada manual de dados possuam estrutura e recursos distintos. A figura 2.8 apresenta a gama de recursos existentes nos comandos MDI dedicados às operações de torneamento e fresamento. Estudos mais aprofundados sobre estes recursos podem ser vistos em [5, 6, 9, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39].

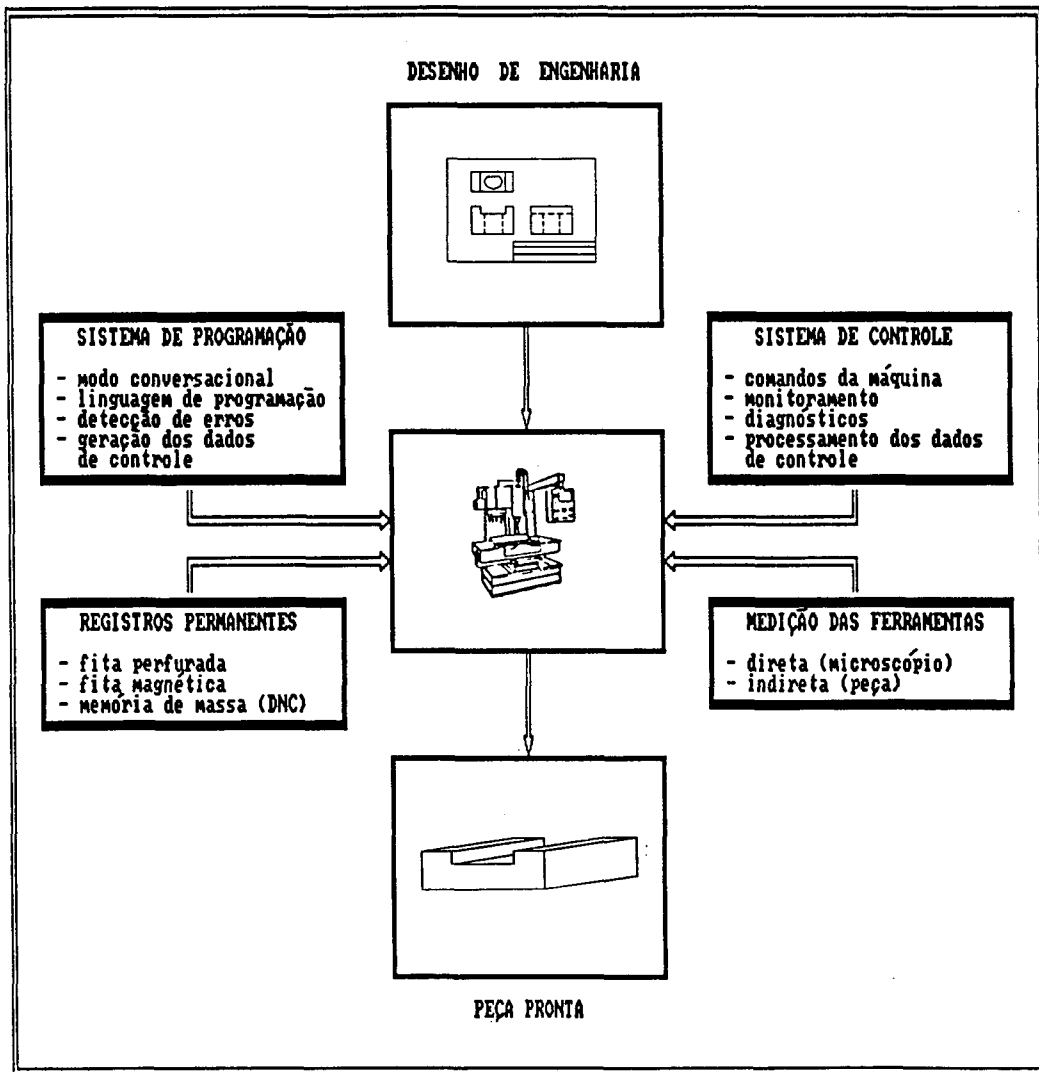


Figura 2.7- Estrutura dos comandos CNC dedicados à programação MDI [33].

Pode-se dizer que duas características básicas norteiam o desenvolvimento e aplicação dos sistemas MDI: programação conversacional (paramétrica) e recursos gráficos [34].

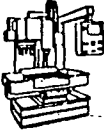
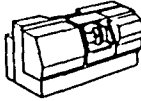
<p>CENTROS DE USINAGEM / FRESADORAS</p> 	<p>TORNOS</p> 
<ul style="list-style-type: none"> * MACRO-PROGRAMAÇÃO (rasgos, "pockets", composições de furos etc.) * PROGRAMAÇÃO EM COORDENADAS POLARES * PROGRAMAÇÃO INTERATIVA * SUB-ROTINAS * "PLAY-BACK" * FUNÇÕES ARITMÉTICAS E CONDICIONAIS * RECURSOS GRÁFICOS (representação gráfica da peça, simulação etc.) * CONTROLE DE ATÉ 5 EIXOS * POSSIBILIDADE DE CRIAÇÃO DE "MACROS" PELO USUÁRIO * CONTROLE ADAPTATIVO P/ RESTRIÇÃO E OTIMIZAÇÃO * FAMÍLIA DE PROGRAMAS E BIBLIOTECAS DE "MACROS" 	<ul style="list-style-type: none"> * CICLOS FIXOS * LINGUAGEM CONVERSACIONAL/TECLADO SIMBÓLICO * "MACROS" * PROGRAMAÇÃO PARAMÉTRICA * MENUS DIRIGIDOS (gráficos) * RECURSOS GRÁFICOS (representação gráfica da peça, simulação etc.) * "SOFT KEYS" * PROGRAMAÇÃO DE VIDA/TROCA AUTOMÁTICA DA FERRAMENTA * DEFINIÇÃO DE ÁREA DE COLISÃO

Figura 2.8- Principais recursos dos comandos MDI.

Outro importante aspecto a ser considerado, para o bom rendimento do sistema MDI, é o grau de qualificação do operador. Este deve, entre outras atividades, analisar o desenho, determinar o processo de usinagem, preparar a máquina-ferramenta, elaborar o programa NC e verificá-lo. Este contexto de atividades presuppõe um operador com alto grau de qualificação, com sólido conhecimento dos códigos específicos do comando da máquina sob seu controle [36, 40].

O grande campo de aplicação dos sistemas MDI está nas indústrias que não trabalham com peças de alta complexidade ou aquelas cujo perfil do sistema de fabricação não exige programação fora dos setores de produção [36]. Dentro da empresa, as principais aplicações dos sistemas MDI relacionam-se às tarefas de

treinamento, trabalhos experimentais, fabricação de dispositivos de fixação e outras peças cujo lote não justifica a preparação remota dos programas NC [31].

A aplicação deste método de programação apresenta algumas vantagens [29, 31]:

- motivação por parte do operador (participação mais ampla no processo de fabricação);
- evita investimento adicional em equipamentos de preparação de fitas;
- simplicidade organizacional da empresa (não é necessário a montagem de um setor específico para a programação).

Para obter-se boa produtividade na aplicação deste método, alguns requisitos devem ser preenchidos [31]:

- reduzido número de cálculos geométricos;
- não mais do que duas fixações devem ser necessárias para usinagem da peça;
- para cada "set up", não mais do que seis ferramentas devem ser utilizadas;
- não mais do que três eixos devem ser comandados simultaneamente.

Algumas desvantagens podem ainda ser observadas. Em comandos mais antigos, não existe o recurso da programação em paralelo, ou seja, a máquina-ferramenta não produz enquanto é programada. Outro aspecto é a falta de documentação do procedimento de usinagem de um componente, haja visto que, na maioria das vezes, não há preparação da fita perfurada. O método se mostra limitado para componentes grandes, com superfícies

relativamente complexas ou ainda com muitas entidades geométricas. Este método produz programas NC específicos para cada par comando/máquina. Isto faz com que um programa desenvolvido para um dado equipamento, não possa ser introduzido em outra unidade, devido a dois fatores principais:

- falta de documentação do programa (este deve ser recriado para o outro comando);
- peculiaridades existentes em cada modelo CNC, que fazem com que difiram-se em termos de linguagem, recursos e capacidades.

Este contexto provoca problemas de despadronização, também relacionados aos diferentes estilos de cada operador.

O método não se aplica para as linhas de produção caracterizadas por intensa variedade de produtos. Mostra-se, também, inadequado a empresas que pretendam partir para filosofias de integração da manufatura (CIM), devido às incompatibilidades com outras tecnologias como CAD, CAPP, DNC etc.

2.3.3 Programação assistida por computador

No caso de considerar-se como programação assistida toda aquela onde um computador é utilizado para auxiliar, ainda que parcialmente, o programador, as situações de programação puramente manual ficam reduzidas a um mínimo. Assim, pode-se dizer que a programação assistida apresenta sistemas com variados graus de automatização e recursos. Dentro desta classificação, excetuando-se os sistemas CAD/CAM, pode-se enquadrar principalmente:

a) Programação via editores

Aqui, o programador, utilizando um microcomputador, tem condições de digitar o programa a partir de um manuscrito previamente elaborado, diretamente na linguagem do comando a ser programado, tendo apenas como conforto adicional, a possibilidade de fazer edições no programa, antes de arquivá-lo.

Neste caso, o editor substitui equipamentos antigos, como perfuradoras do tipo "Teletype" ou "Flexwriter", sendo acoplado a perfuradoras de fita ou diretamente ligados aos comandos (DNC de "Direct Numerical Control"), oferecendo melhores recursos de programação.

Um editor de programas NC é um editor de textos, conformado para textos de programação NC. Assim, os sistemas de programação à base de editores não visam a automatização total do processo de geração dos programas. O objetivo maior é dar apoio ao programador na realização de suas tarefas. Este apoio pode variar de acordo com o grau de sofisticação do editor, que, de acordo com seus recursos, pode ser classificado em [41]:

- editor NC elementar;
- intermediário;
- avançado.

Um editor NC elementar seria um sistema bastante simples, capaz de possibilitar a digitação, com visualização no vídeo, dos diversos blocos que compõem um programa NC, na linguagem do comando. Também permitiria posteriores modificações neste programa, seguidas de armazenamento em arquivo. Embora elementar, um editor com estas características, teria a vantagem

de servir de apoio à programação de qualquer modelo de CNC, desde que o usuário conheça suas diversas funções específicas.

Mais amplo que o anterior, um editor NC intermediário, além dos recursos disponíveis em um modelo elementar, possuiria recursos adicionais como:

- sistema de "menu" para comunicação c/ o usuário;
- facilidades extras de edição (inserção, exclusão, procura, substituição, renumeração e marcação de sentenças, palavras e caracteres);
- saída dos programas em diversos tipos (ISO, EIA, ASCII) sob a forma de fita ou outros meios;
- facilidades para cálculos geométricos e trigonométricos, envolvendo situações de concordância e compensação de raio de ferramentas;
- verificação de léxica, sintaxe e semântica dos programas.

Finalmente, um editor NC avançado poderia ser definido como um sistema que, além dos recursos disponíveis nos anteriores, possuiria dois importantes recursos adicionais:

- geração automática de trechos de programas;
- simulação gráfica do percurso das ferramentas.

O recurso de geração automática de trechos de programas, relacionados a operações específicas, geralmente implementado sob a forma de "macros", agiliza em muito a elaboração dos programas NC. A simples introdução de alguns parâmetros pode significar a substituição de dezenas de blocos do programação. As "macros" mais utilizadas são dedicadas a torneamento, furação e fresamento.

Em complementação, a simulação gráfica dos movimentos das ferramentas gera economias substanciais na programação, pois minimiza os tempos de "try-outs" na máquina. Exemplos de sistemas de programação à base de editores são o EDITE [42] e o PCNC [43].

Apesar de representarem um passo a frente, com relação à programação manual clássica, estes sistemas possuem limitações relacionadas aos aspectos tecnológicos dos programas. Constituem soluções isoladas para a programação, oferecendo poucas possibilidades de integração a sistemas CAD e CAPP, principalmente. O processo de geração dos programas, apesar de mais confortável, fica ainda sob total responsabilidade do programador.

b) Sistemas de programação tipo-APT

Trata-se do mais tradicional método de programação auxiliada por computador, tão antigo quanto a própria máquina NC. Sistemas do tipo-APT ("Automated Programming Tool") têm filosofia de programação totalmente diferente em relação aos métodos até agora abordados neste trabalho. Baseiam-se em linguagens genéricas de alto nível, independentes da máquina NC a ser utilizada. As etapas que compõem o processo de elaboração de programas NC em um sistema tipo-APT podem ser vistas na figura 2.9.

A etapa de codificação do programa fica a cargo do programador e pode ser sub-dividida em duas sub-etapas:

- definição geométrica da peça;
- especificação da trajetória da ferramenta e/ou seqüência de operações.

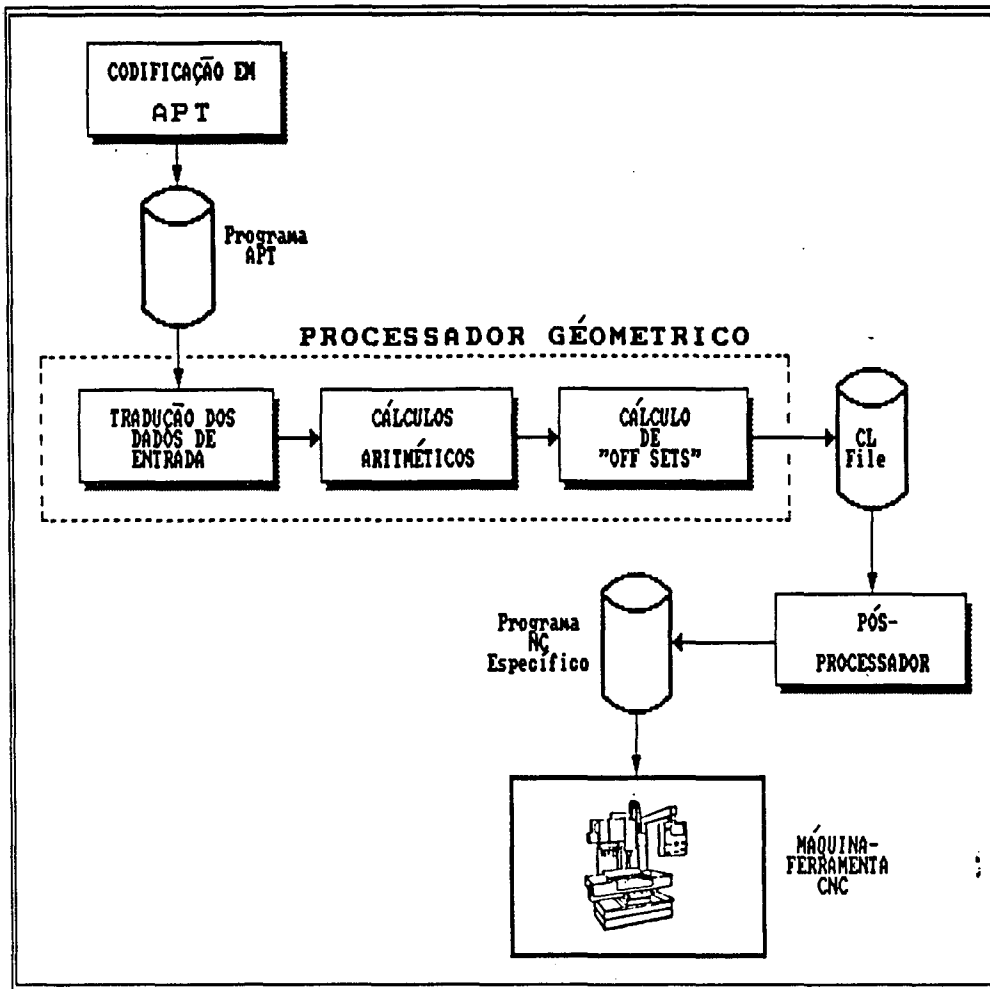


Figura 2.9- Etapas da programação NC em sistemas tipo-APT.

Grande parte das peças concebidas pelo projeto pode ser descrita por pontos, segmentos de retas, planos, círculos, arcos, cilindros e outras superfícies definidas matematicamente. Na primeira sub-etapa, o programador deve enumerar os elementos geométricos que compõem a peça a ser programada. Cada elemento deve ser identificado e suas dimensões, assim como sua localização, explicitamente definidas através de sentenças da linguagem utilizada.

Uma vez definida a geometria da peça, o programador, utilizando a mesma sintaxe, especifica o percurso de cada ferramenta empregada na usinagem do componente. Esta especificação

envolve uma seqüência detalhada de movimentos de cada ferramenta, tendo como referência as entidades geométricas definidas na sub- etapa anterior. No caso do sistema APT, cabe também ao programador a definição, escolha e seqüenciamento das ferramentas e entrada dos valores dos parâmetros de corte. Aspectos detalhados da sintaxe da linguagem APT podem ser observados em [14, 21, 44].

A segunda etapa do processo (processamento geométrico) é executada pelo sistema. Constitui-se de três passos básicos (figura 2.9) [14]. Na primeira etapa (tradução dos dados de entrada) há a conversão dos dados contidos no programa fonte para um formato compatível ao sistema. Por sua vez, a unidade de cálculos aritméticos consiste de um conjunto de sub-rotinas, acionadas através de declarações da linguagem utilizada, dedicadas à execução de cálculos matemáticos necessários à geração das superfícies do componente programado. Por fim, o sistema determina os pontos exatos por onde passará cada ferramenta, levando-se em consideração suas dimensões (cálculo de "off sets").

A saída do processador geométrico é um programa NC neutro, normalmente denominado CLData ou CLFile ("Cutter Location File"). Um pós-processador, então, converte este programa, de formato genérico, independente do equipamento a ser utilizado, para um formato que possa ser entendido pelo controle da máquina-ferramenta. Para cada par comando CNC/máquina-ferramenta deve haver um determinado pós-processador (figura 2.10). Aspectos relacionados à estrutura e funcionamento de pós-processadores podem ser vistos em [45, 46, 47].

Uma vantagem da programação via sistemas tipo-APT é a necessidade de se obter apenas um programa NC por peça, tendo em vista que não se trata de um método voltado à máquina. Além disso,

o auxílio de um sistema computacional deste tipo, torna confortável a programação de peças complexas, que requerem movimentação simultânea de até 5 eixos da máquina, para sua usinagem. Outros benefícios da utilização destes sistemas podem se vistos em [29, 31, 35, 48].

Por outro lado, além dos altos custos, tanto de hardware quanto de software, associados a este método, existem alguns problemas relacionados à programação propriamente dita.

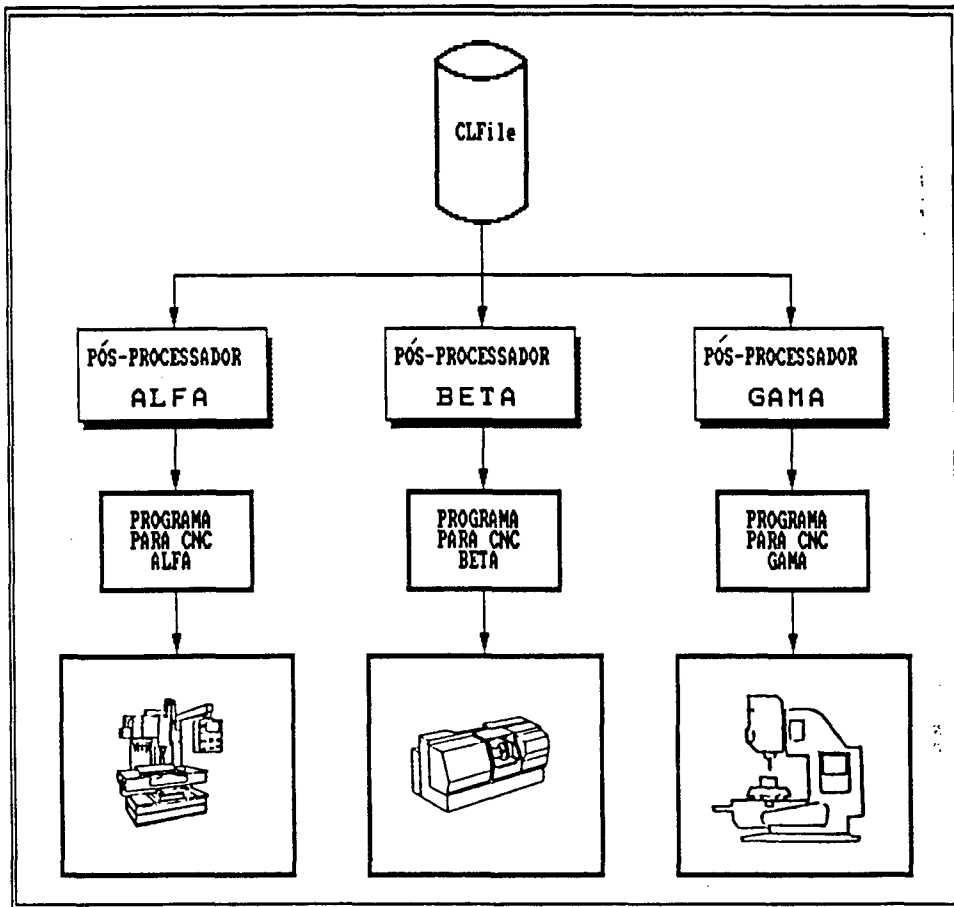


Figura 2.10- Pós-processamento tradicional.

Freqüentemente, encontram-se dificuldades na utilização do sistema operacional que gerencia o processo. Embora se adapte melhor a peças demasiadamente complexas para serem programadas manualmente, este método apresenta limitações a partir de certo grau de complexidade geométrica, tornando fundamental a presença de um programador experiente. Além disso, a linguagem possui muitas funções, não provê visualização gráfica e, para peças pequenas, possui excessivo número de declarações [49]. Entretanto, os maiores problemas ocorrem no estágio de modificação dos programas. Com freqüência o programa sofre alterações implementadas pelo próprio operador da máquina, pois este pode enxergar pontos de otimização que passam despercebidos pelo programador no escritório. Este procedimento faz com que o programa neutro se desatualize. Se for utilizado em outro CNC, deve ser novamente processado. Algumas indústrias não permitem este procedimento, optando pela geração de novo programa fonte. Isto diminui a produtividade e aumenta os custos de programação, além de impedir a total utilização dos recursos do CNC [40].

Outro aspecto é a utilização de PPFUNs ("Post Processor Functions"). Seu uso permite que se lance mão dos ciclos específicos de cada comando, explorando mais profundamente seus recursos. Entretanto, este procedimento faz com que o CLFile deixe de ser neutro, perdendo parte de sua flexibilidade [40]. Além disso, as funções de pós-processamento aumentam consideravelmente o conjunto de informações que o programador necessita conhecer.

Outra fonte de problemas são os pós-processadores. Tradicionalmente, o uso de um determinado pós-processador faz com que o programa NC não seja intercambiável, ou seja, não possa ser utilizado em outro tipo de equipamento. Esta especificidade restringe a flexibilidade da empresa em termos de seqüenciamento da produção, pois uma tarefa não pode ser remanejada com facilidade, no caso de quebra ou manutenção de máquinas. Adicionalmente, existem problemas de custos relacionados aos pós-processadores. Em muitos casos demandam tempos consideráveis de depuração durante sua implementação, o que retarda a entrada de uma máquina nova em funcionamento, por conseguinte causando perdas à produção.

Existem algumas variações da linguagem APT. A versão mais conhecida é o EXAPT ("Extended APT"), desenvolvido na Alemanha nos anos 60/70. Seu processador possui inclusive recursos para cálculo das condições de corte para algumas tarefas, baseado apenas na descrição da peça, acrescida de parâmetros tecnológicos (figura 2.11).

Alguns sistemas do tipo-APT, no entanto, se afastam da estrutura original, adotando vocabulário simbólico. Empregam outros caracteres e números, obtendo sintaxe mais simples, porém menos flexível. Exemplos são os sistemas AUTOPROGRAMER, ECODATA, COMPACT II e MITURN [50].

2.3.4 Programação via sistemas gráfico-interativos

Com o intuito de facilitar ainda mais a atividade de elaboração dos programas, e com base no rápido desenvolvimento da informática, surgiram, por volta dos anos 70, os primeiros siste-

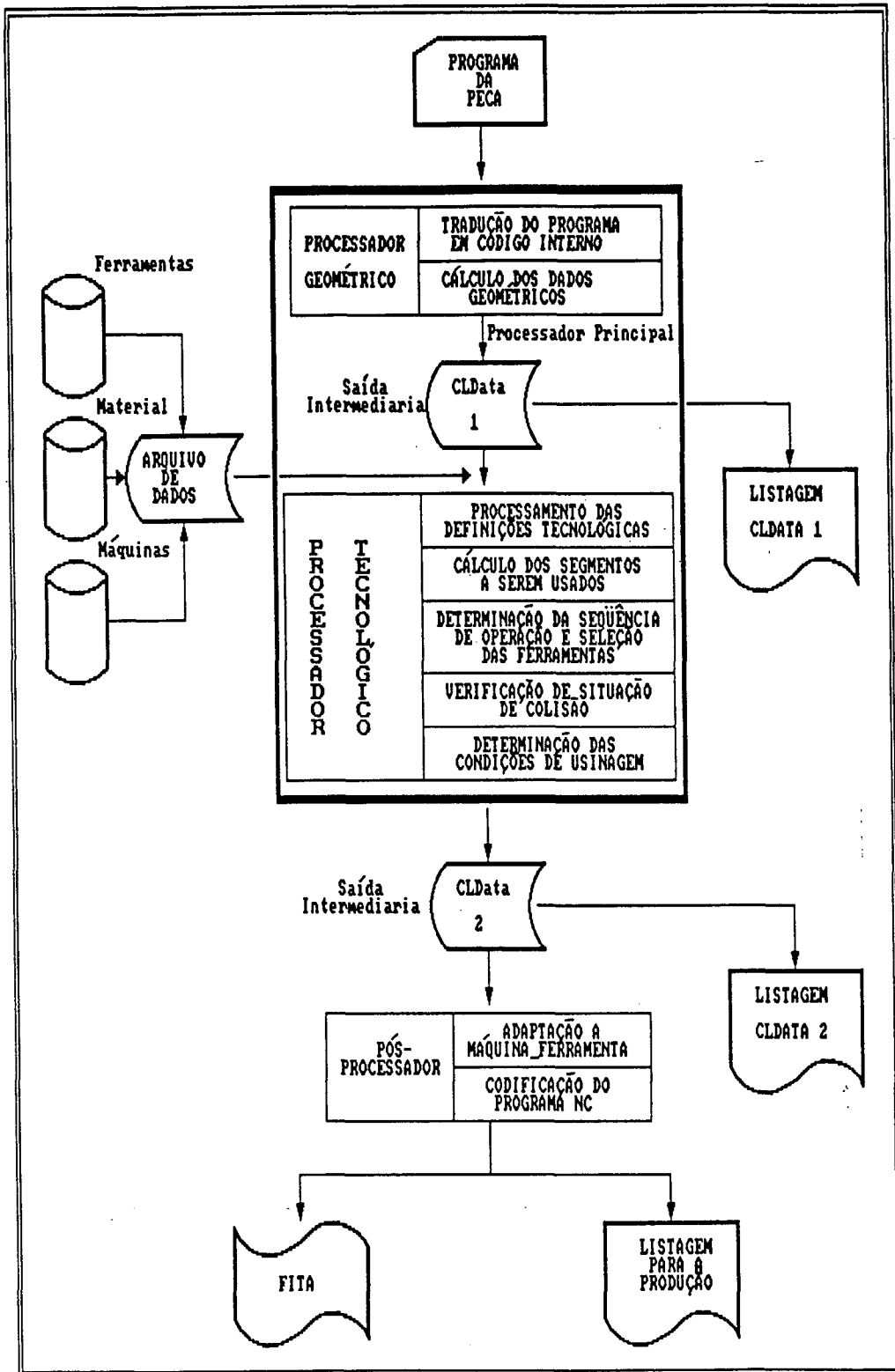


Figura 2.11- Estrutura do processador EXAPT [50].

mas de programação baseados em computação gráfica interativa. A maior vantagem da utilização destes sistemas, em relação aos tradicionais processadores tipo-APT, é que o usuário pode obter respostas imediatas às decisões tomadas, através de visualização gráfica. Isto faz com que todo o processo se agilize. Outros benefícios da programação NC via sistemas gráfico-interativos podem ser vistos em [30].

Assim como nos computadores, onde diversificação e despadronização são características predominantes, os sistemas de programação gráfico-interativos também se diversificaram. Ainda assim, de um modo geral, pode-se dizer que o processo de geração dos programas NC, com auxílio destes sistemas, compreende duas etapas básicas:

- definição geométrica da peça;
- geração da trajetória das ferramentas.

Os sistemas de programação gráfico-interativos podem ser classificados em (figura 2.12) [50]:

a) Sistemas com linguagem simbólica:

Neste caso a definição geométrica da peça a ser programada é estabelecida com auxílio de linguagem (sintaxe) que engloba caracteres alfa-numéricos, símbolos e regras, que são interpretadas e desenhadas na tela ou em "plotter".

A partir daí, o usuário passa à especificação da trajetória de cada ferramenta para geração do programa NC. Alguns sistemas possuem cadastros ou bibliotecas de ferramentas, que podem ser acessadas pelo usuário. Este decide qual ferramenta

disponível é a mais adequada para a operação em questão e faz a seleção. Isto permite que os dados geométricos sobre as ferramentas (diâmetros e outras dimensões) sejam diretamente inseridos no sistema para cálculo de compensações. Se a ferramenta não está disponível, pode ser especificada pelo usuário para uso posterior.

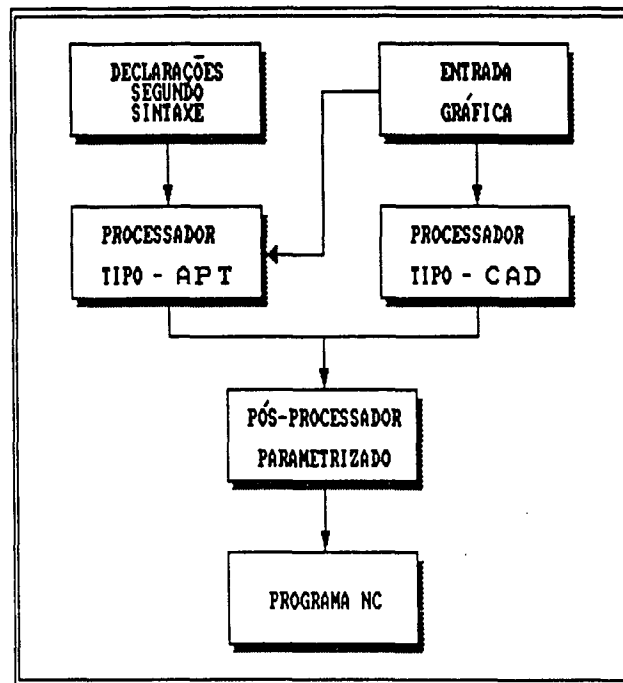


Figura 2.12- Sistemas de programação gráfico-interativos [50]

Uma vez definidas as ferramentas, parte-se para a definição do percurso propriamente dito. No caso de sistemas com esta abordagem, normalmente a entrada de comandos de movimentação se dá de forma discreta, um a um, similar à programação assistida (tipo-APT). Declarações individuais, na sintaxe APT ou outra linguagem qualquer, são introduzidas e o sistema provê visualização gráfica imediata do comando executado. Alguns sistemas deste tipo dispõem de rotinas referentes a ciclos, como

usinagem de perfis, cavidades e operações ponto-a-ponto. Exemplos de sistemas deste tipo são o COMPACT II e o GNC [50].

b) Sistemas sem linguagem:

Estes sistemas dispensam qualquer tipo de linguagem ou sintaxe. Programas deste tipo possuem maior rigidez em termos de estrutura, para que possam acomodar todo o procedimento de entrada de dados, consulta a arquivos, processamento e geração dos programas NC para as diversas formas geométricas e operações.

Nos sistemas gráfico-interativos sem linguagem, a definição geométrica da peça pode ser desenvolvida empregando-se duas propostas básicas: a primeira se baseia nos conceitos clássicos do APT e a segunda em estruturas CAD (figura 2.12).

No primeiro caso, desenvolve-se, inicialmente, a definição dos elementos que compõem a peça, sem levar em consideração os sentidos que orientarão o percurso da ferramenta. As trajetórias são determinadas em um segundo passo. No caso de se empregar conceitos ou estruturas de CAD, a definição de um "contorno" se faz diretamente a partir da definição dos elementos geométricos, permitindo construção de interfaces CAD/CAM mais simples. Para o usuário, no entanto, esta diferença permanece transparente.

Além das propostas de definição geométrica baseadas em estruturas CAD ou APT, a entrada de dados geométricos em sistemas de programação gráfico-interativos pode se dar de duas formas distintas (figura 2.13):

- via editor gráfico dedicado ao CAM;
- via CAD comercialmente disponível.

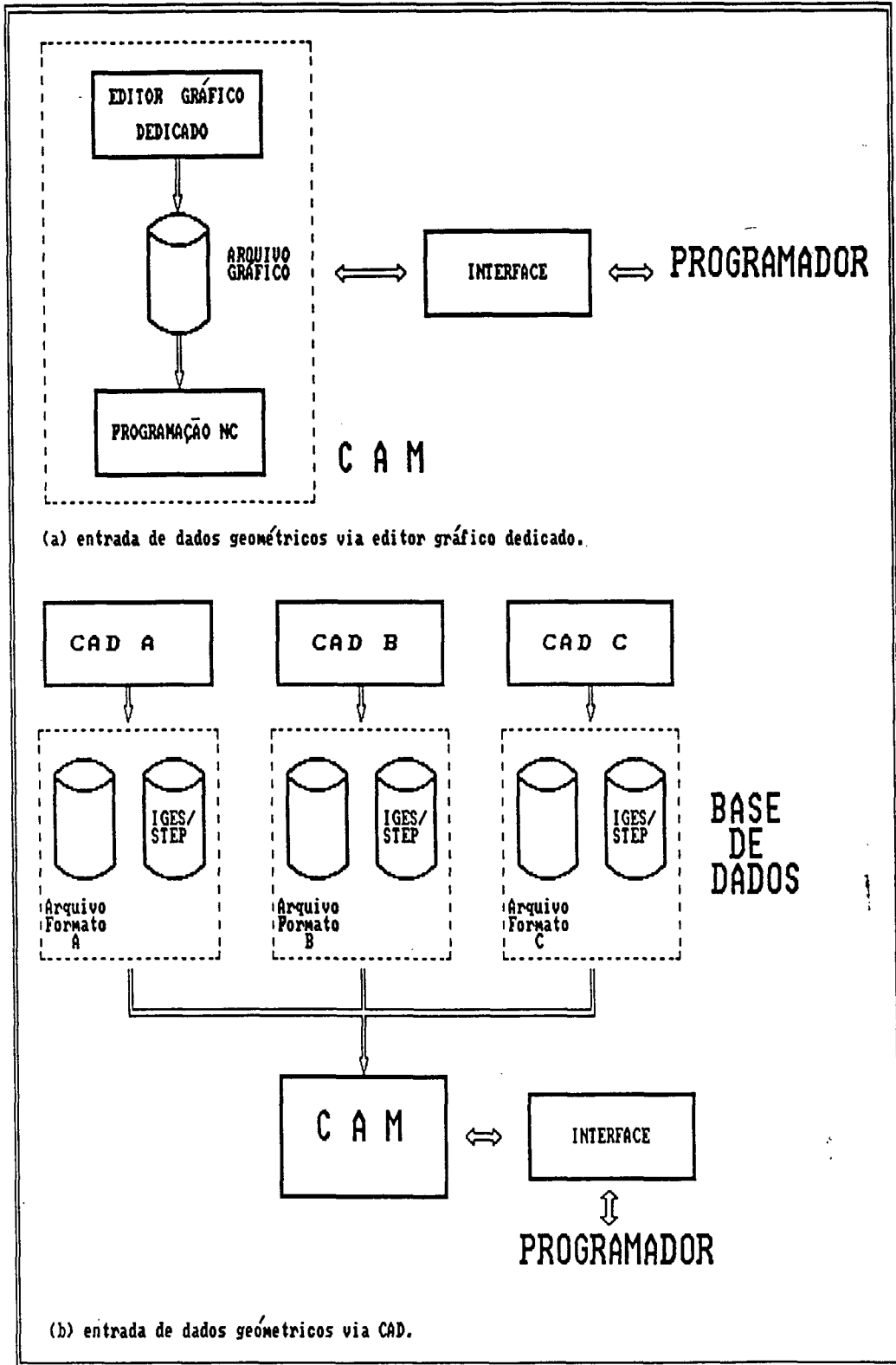


Figura 2.13- Entrada de dados geométricos em sistemas de programação NC gráfico-interativos.

No segundo caso, o processador CAM faz uso do modelo computacional da peça, armazenado na base de dados do CAD através de seus arquivos gráficos, e dele retira os dados geométricos necessários à geração dos programas, suprimindo desta forma muitas das deficiências de natureza geométrica encontradas nos sistemas tipo-APT clássicos. De forma interativa, o usuário executa a programação: o percurso de cada ferramenta é determinado através da seqüência de entidades selecionadas pelo programador, via "mouse", teclado, "tablet" etc, e o sistema gera sentenças do programa NC para cada movimento executado pela ferramenta. Em alguns casos, como na usinagem de superfícies esculturais, que demandam a programação de até 5 eixos simultaneamente, a geração do programa NC pode se dar de forma automática. A maioria dos sistemas existentes devota-se principalmente à programação de peças caracterizadas por contornos.

Devido ao caráter interativo da programação da maioria das operações, o programador tem papel extremamente importante, já que define todo o processo de fabricação. Isto significa que este deve possuir o plano de processos detalhado da peça, afim de que possa desenvolver um programa NC tecnologicamente consistente. O processo para geração de um programa NC consiste de passos como escolha da entidade a usinar, determinação da trajetória das ferramentas, entrada dos valores dos parâmetros de corte empregados etc. A cada movimento da ferramenta atual, é possível uma visualização gráfica. Normalmente a escolha da ferramenta a ser empregada para determinada operação fica a cargo do programador. Entretanto, alguns sistemas CAD/CAM dispõem de cadastros de ferramentas e arquivos contendo valores de parâmetros de corte que podem ser acessados e inseridos no programa NC [48].

Existem três níveis de linguagem de programa NC gerados pelos sistemas CAD/CAM (figura 2.14) [51].

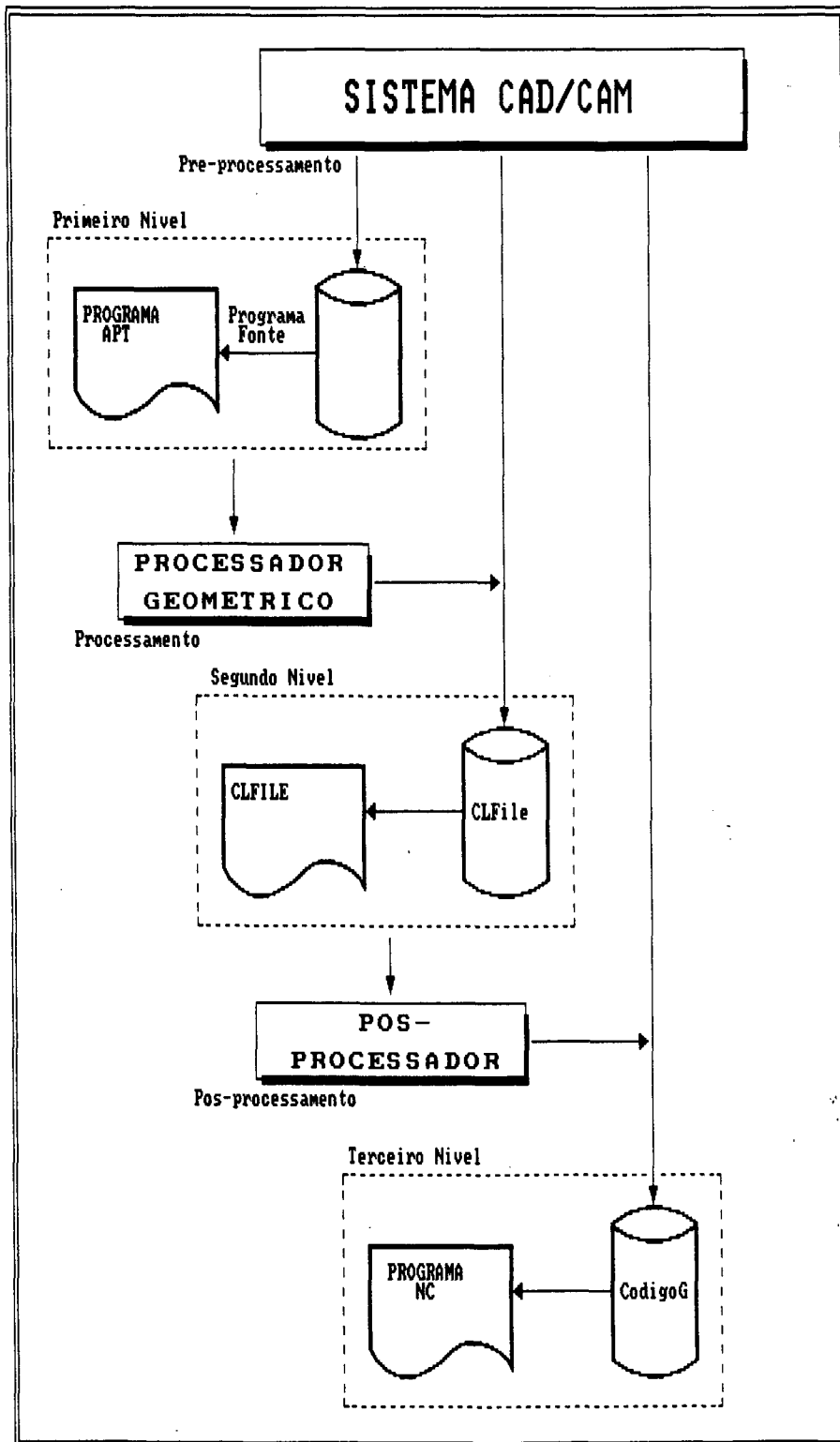


Figura 2.14- Níveis de linguagem geradas por sistemas CAD/CAM

Um primeiro nível poderia ser denominado "nível de linguagem": o arquivo gerado, composto de programas NC nos formatos tipo-APT precisa passar por um processador, que gera outro arquivo contendo a trajetória da ferramenta (CLFile).

No "nível neutro de trajetória" obtém-se, diretamente do sistema CAD/CAM, um arquivo em formato CLFile, como o que seria gerado pelo processador no nível anterior. Até aqui, todos os procedimentos independem da máquina CNC. Este nível adapta-se, como o nível anterior, a empresas que possuam várias máquinas CNC, de diferentes fornecedores, e que, na etapa de programação, ainda não saibam qual máquina será utilizada para usinagem de determinada peça. Para gerar o programa NC no formato da linguagem apropriado à cada máquina, este arquivo deve ser pós-processado, como já mencionado.

O último nível de formato de programas NC gerados pelos sistemas CAD/CAM, é o "nível CNC de trajetória". Neste caso é possível obter-se, diretamente do sistema, um arquivo de formato e sintaxe tais que possa ser diretamente introduzido no comando da máquina CNC a ser utilizada. É apropriado principalmente para empresas que possuem poucas máquinas de diferentes tipos e quando já se conhece a máquina a ser utilizada no momento da programação.

Os problemas encontrados com o emprego de pós-processadores específicos levaram ao desenvolvimento de pós-processadores genéricos ou universais ("G-Post"). Tratam-se de programas interativos que configuram pós-processadores específicos. Estes softwares surgem como tendência em termos de pós-processamento, sendo desenvolvidos por grande número de fornecedores, tanto para microcomputadores quanto para

"mainframes". Sobre pós-processadores genéricos consultar [52, 53].

Independentemente do nível de linguagem do programa NC gerado, a grande desvantagem deste método é que os fornecedores de sistemas CAD/CAM produzem soluções isoladas, contradizendo a tendência à integração. Esta dependência é causada principalmente por problemas de padronização de arquivos gráficos e base de dados [12]. Além disso, existem sérias limitações com respeito aos aspectos tecnológicos do processo de geração de programas NC, problemas estes abordados com maior profundidade nos capítulos subsequentes. Outros aspectos relacionados às vantagens e limitações sentidas com o emprego de soluções CAD/CAM podem ser vistos em [31, 49].

2.4 ESCOLHA DO MÉTODO DE PROGRAMAÇÃO

Mesmo não levando-se em consideração alguns novos métodos em estágio de desenvolvimento e implantação, como no caso da programação WOP ("Wekrstattsorientierte Programmierung"), brevemente apresentada em [40], pode-se observar a enorme gama de alternativas de que dispõem as empresas, no caso de se pretender implementar, de forma eficiente, a tecnologia NC.

A indústria deve desenvolver um estudo minucioso relacionado às suas próprias características, visando uma opção que se adeque às suas necessidades específicas. Observa-se que na maioria dos casos, a melhor metodologia pode ser a combinação de dois ou mais métodos de programação [49].

Muitos são os fatores envolvidos na escolha de um método de programação. A começar pelas peças, deve-se pensar em aspectos como:

- complexidade das peças;
- tamanho do lote;
- variações de peças basicamente similares etc.

Com relação às máquinas, a empresa, na implantação de um determinado método de programação, deve observar:

- variedade de máquinas e modelos de CNC existentes;
- quantidade de máquinas;
- recursos oferecidos pelos comandos das máquinas etc.

Além de todos estes fatores, existem aspectos intrínsecos a cada empresa, como:

- perfil da linha de produção;
- experiência e familiaridade com CNC;
- tamanho da fábrica;
- disponibilidade de um sistema CAD etc.

Finalizando, se a empresa pretende partir para uma concepção integrada (CIM), deve-se considerar o grau de integração futuro da escolha feita hoje. A solução adotada neste momento pode passar pela aplicação conjunta de alguns dos métodos apresentados. Neste caso, aumenta-se a necessidade de estudos envolvendo interfaces padronizadas. Alguns dos aspectos relativos a estas interfaces padronizadas serão tratados nos capítulos que se seguem. Outros poderão ser encontrados em [12].

CAPÍTULO III

A INTEGRAÇÃO CAD/CAPP/CAM

Neste capítulo são abordados os principais aspectos da integração projeto/planejamento/fabricação, com ênfase na programação NC integrada a sistemas CAD e CAPP. Inicialmente apresenta-se um breve histórico do desenvolvimento tecnológico das áreas de projeto e planejamento. Discorre-se sobre o processo de projeto de um produto, na sua forma tradicional, e o auxílio do computador nas suas diversas etapas. São analisados conceitos básicos de CAD, assim como ferramentas que viabilizem a aplicação do conceito de projeto orientado à fabricação. Em seguida são abordados os conceitos de planejamento do processo e CAPP. Finalmente descreve-se o ciclo CAD/CAPP/CAM ideal para a programação NC integrada, analisam-se os principais problemas que cerceiam a realização desta integração e apresentam-se alguns sistemas de programação existentes.

3.1 RAMOS DO DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO

O desenvolvimento tecnológico nas áreas de projeto, planejamento e fabricação se deu em duas etapas distintas. Em um primeiro estágio, cada ramo se desenvolveu isoladamente, sem preocupação com metodologias de integração (figura 3.1).

Neste contexto, o ramo de projeto iniciou sua investida em informática através do auxílio do computador nos estudos voltados a análise de tensões e vibrações. Para tanto valeu-se do emprego de métodos como das diferenças finitas e dos elementos

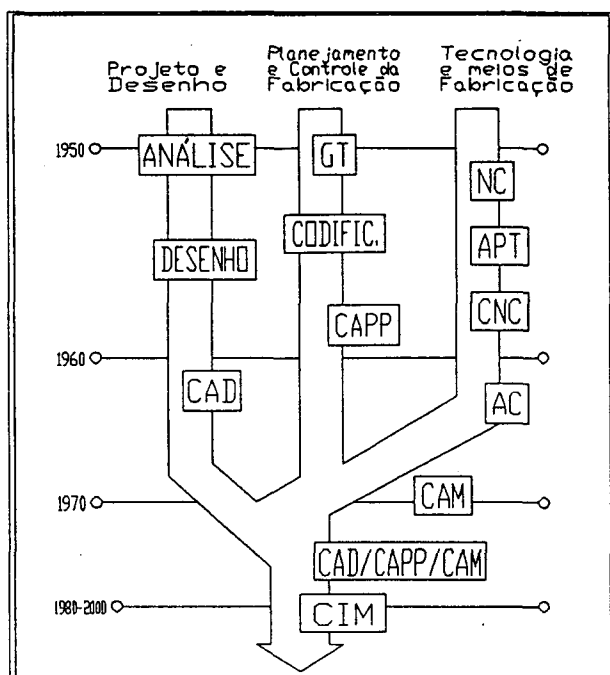


Figura 3.1- Ramos do desenvolvimento tecnológico [54].

finitos, que, pela natureza de seus requisitos matemáticos, requeriam o computador como ferramenta indispensável. Isto proporcionou grande avanço tanto hardware quanto de software. Este desenvolvimento permitiu o surgimento da computação gráfica e com ela os softwares gráficos que auxiliavam o projetista na atividade de desenho. O próximo passo foi a criação de sistemas CAD, agilizando drasticamente algumas etapas do projeto do produto.

Paralelamente, sentia-se a necessidade de se organizar a produção. Assim, o ramo relacionado às atividades de planejamento se aprimorava, principalmente sob o impacto da aplicação do conceito de Tecnologia de Grupo (GT de "Group Technology") e de sistemas de classificação e codificação e análise de fluxo de fábrica. Todo este desenvolvimento desembocou no nascimento dos primeiros sistemas CAPP.

O ramo da fabricação, por sua vez, foi impulsionado de forma decisiva pelo desenvolvimento da tecnologia NC (vide capítulos 1 e 2), revolucionando totalmente os critérios de produção até então adotados.

Um segundo estágio do desenvolvimento se cristalizou com a convergência dos ramos tecnológicos, caracterizada pela tentativa de integrar-se as diversas técnicas. Com o intuito de se otimizar etapas do ciclo projeto/fabricação, alguns aspectos foram integrados, originando o ramo "CAD/CAM".

A utilização desses sistemas permite que muitos aspectos do ciclo projeto/fabricação sejam automatizados e integrados. Nota-se, entretanto, uma lacuna com respeito ao domínio do conhecimento tecnológico envolvido nos processos de fabricação. Para a plena integração CAD/CAM, surge, então, a necessidade do desenvolvimento de sistemas CAPP e do aperfeiçoamento das interfaces CAD/CAPP e CAPP/CAM.

3.2 PROJETO E REPRESENTAÇÃO DE UM PRODUTO

Pode-se conceituar o projeto de um produto como um conjunto de atividades, precedentes à fabricação, envolvidas na materialização de uma idéia [54]. Trata-se de um processo interativo, formado por complexo fluxo de informações no decorrer de suas etapas, até a realização da idéia (figura 3.2). A literatura é farta em modelos que representem, passo-a-passo, o processo de projeto de um produto [14, 51, 55, 56, 57].

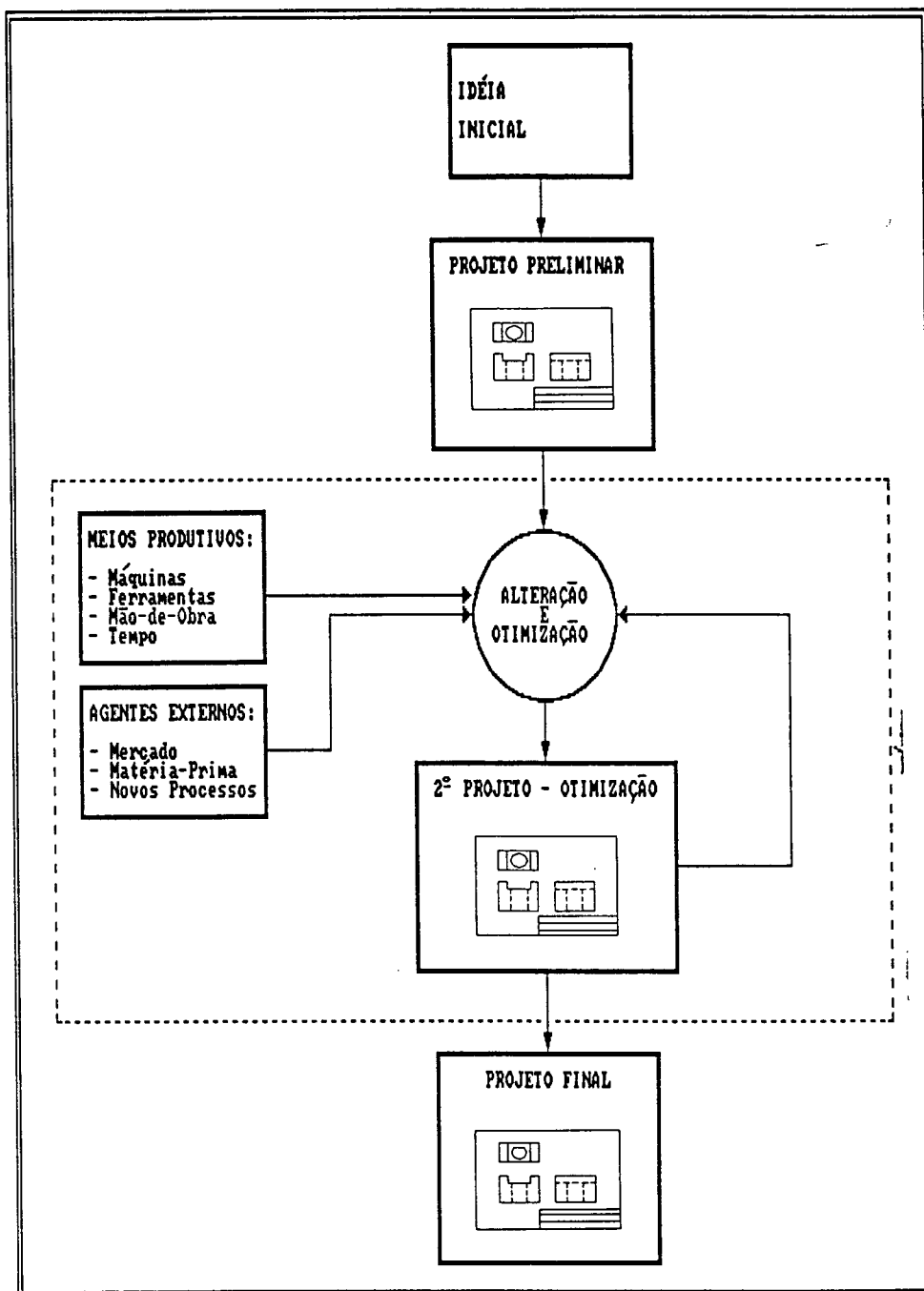


Figura 3.2- Processo de projeto de um produto [54].

Ao final deste processo, o produto deve ser documentado através de uma representação que não apresente ambigüidades. Na prática, a representação mais utilizada é o desenho de engenharia,

que, sintetizando grande quantidade de informações, serve de meio de expressão entre setores de engenharia, planejamento e produção.

A importância desta representação tem motivado estudos voltados à sua padronização, objetivando universalizá-la, afim de facilitar sua interpretação. Foram desenvolvidos procedimentos de desenho técnico que consagraram vistas ortogonais, cortes e detalhes (quando necessários) e normalizaram inúmeros elementos, incluindo espessuras e tipos de linhas, formatos de papel, tipos de hachuras, simbologia e codificação (tolerâncias e acabamentos superficiais), cotagem etc.

Para a realização de cada atividade, o desenho de engenharia fornece informações específicas. Atividades como o planejamento do processo e a programação NC dependem fundamentalmente da interpretação das informações geométricas e tecnológicas contidas no desenho.

3.2.1 Projeto Orientado à Fabricação

A quantidade e a natureza dos dados necessários à descrição/representação de um produto torna imperioso a compatibilização da atividade de projeto aos demais setores da empresa. O projetista não deve se ater somente à resolução do problema funcional, e sim trazer ao escopo de suas preocupações, aspectos relativos tanto à fabricação (incluindo manipulação e montagem), quanto à qualidade (inspeção) e até ao mercado ("marketing"), interagindo com estes setores.

Muitos dos parâmetros que definem um produto podem ter seus valores alterados no estágio de produção. Assim, o conhecimento, por parte do projetista, dos meios produtivos

(processos, máquinas, ferramentas, mão-de-obra) torna-se extremamente importante. Este conhecimento possibilita que o projeto trabalhe com idéias factíveis, produtos exequíveis e uma melhor exploração das capacidades dos processos.

Entretanto, em muitos casos o projetista direciona seu trabalho à performance, aparência e confiabilidade do produto, deixando ao encargo da fabricação a produção do que quer que tenha sido projetado. Em determinadas situações, pequenas alterações no projeto podem minimizar drasticamente os requisitos de fabricação, sem, no entanto, causar oscilações em termos de funcionalidade do produto.

Algumas "regras" básicas na aplicação do conceito de projeto orientado à fabricação, são [24]:

- se possível, criar o produto a partir de componentes existentes no mercado, com suprimento garantido e em dimensões e especificações padrão;
- sempre que possível, partir de projetos prévios de trabalhos similares;
- sempre que possível, minimizar o volume de usinagem necessário;
- na criação da forma do componente, considerar aspectos de manipulação, fixação, usinagem e montagem;
- evitar tolerâncias superdimensionadas, assim como valores de acabamentos superficiais além do absolutamente necessário;
- considerar os princípios cinemáticos durante os passos iniciais do projeto.

A aplicação do conceito de projeto orientado à fabricação deve se dar tanto a nível das tarefas e decisões no projeto quanto no caso de sua representação e documentação.

Considerando-se o desenho de engenharia como o instrumento de representação mais utilizado, é importante que o projetista utilize técnicas que se adequem às demais atividades. Um exemplo clássico é a cotagem, no caso da programação NC executada empregando-se qualquer método que se baseie na interpretação manual do desenho. Uma cotagem bem direcionada facilita significativamente a geração do programa NC. A figura 3.3 ilustra um exemplo de um desenho onde a cotagem é direcionada à programação NC.

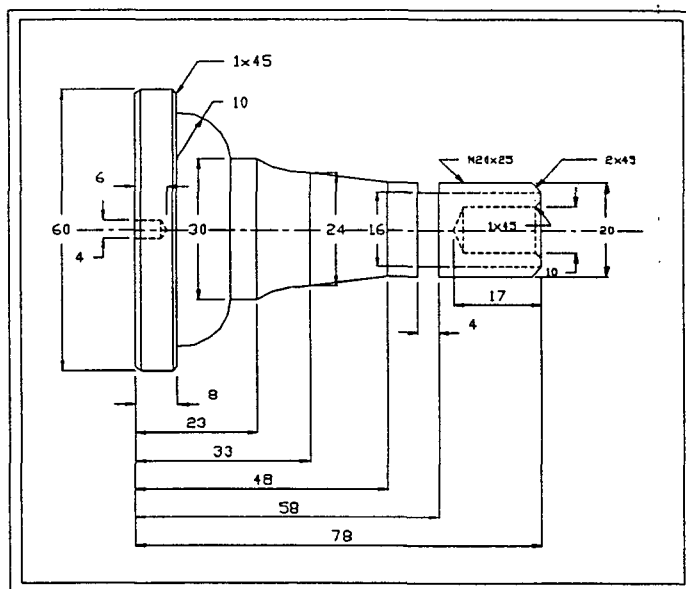


Figura 3.3- Cotagem direcionada à programação NC.

3.2.2 Projeto Auxiliado por Computador (CAD)

O CAD ("Computer-Aided Design") pode ser definido como qualquer atividade de projeto que envolva o efetivo uso do

computador na criação, modificação ou documentação de um projeto de engenharia [14].

Com o contínuo avanço tecnológico, a soma de informações e conhecimentos que devem estar sob domínio do engenheiro cresce ininterruptamente. Os sistemas CAD auxiliam na sistematização deste conhecimento e manipulação destas informações.

Apesar da acrografia "CAD" incluir o termo "Design" (Projeto), nota-se que em muito poucos casos o computador e seus softwares projetam alguma coisa, servindo geralmente apenas como ferramenta de auxílio à confecção do desenho de engenharia, dando maior contribuição no modelamento, arquitetura e detalhamento do mesmo. Em alguns sistemas CAD, tem-se trocado o termo "design" por "drafting", tal sua aplicação como elemento puramente voltado à documentação do projeto. Outros sistemas remetem para o CAE ("Computer-Aided Engineering") a maior parte das atividades de projeto propriamente ditas.

Existem algumas tentativas relacionadas ao desenvolvimento de sistemas que realmente possam tomar decisões no projeto, a grande maioria delas baseada em técnicas de Inteligência Artificial [56, 58, 59]. Entretanto, a captura da lógica do processo de desenvolvimento de um projeto e a quantidade e natureza dos dados envolvidos tornam a tarefa bastante complexa, originando poucos resultados práticos. Ainda assim, os sistemas CAD são de grande valia ao projeto, agilizando algumas de suas etapas, como ilustra a figura 3.4.

O CAD tem como base os editores gráficos, que constituem-se de conjuntos de rotinas que, de forma interativa, permitem a criação e manipulação de imagens compostas, com o auxílio do computador. Além disso, podem funcionar como

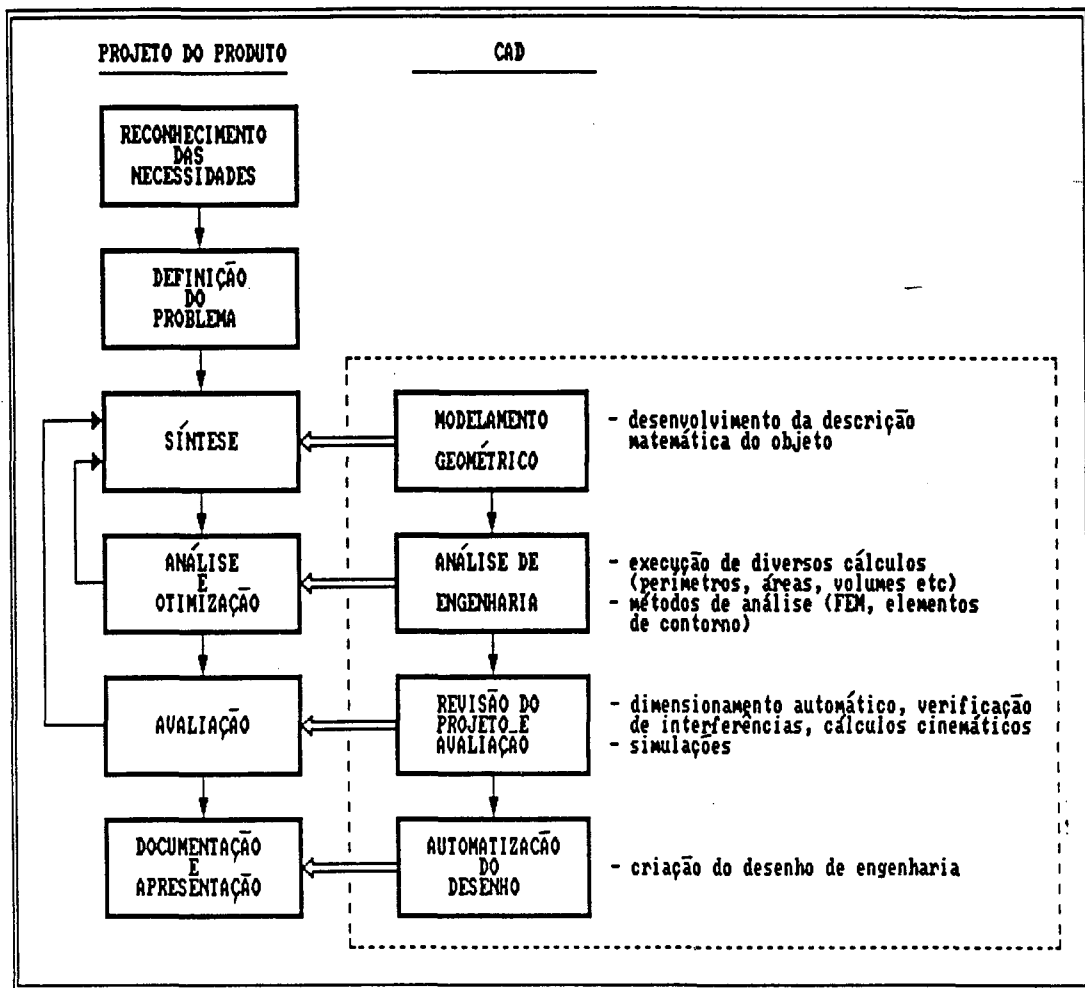


Figura 3.4- Contribuição dos sistemas CAD nas diversas etapas do desenvolvimento de um produto [14].

ferramentas de entrada e saída gráfica de dados em programas aplicativos, como a programação NC, através de interface que liga o arquivo gerado pelo editor ao aplicativo [20]. Os principais recursos dos editores gráficos são [54, 60, 61, 62]:

- visualização do modelo em terminal gráfico;
- execução de operações no modelo;
- detalhamento ("zoom");
- determinação de vistas e cortes;
- utilização de diferentes sistemas de coordenadas;
- cotação automática;

- definição de níveis ("layers");
- vistas explodidas;
- definição de bibliotecas de símbolos.

As vantagens oferecidas por sistemas CAD, no apoio ao projeto, se multiplicam, indo desde uma melhor documentação e apresentação do produto, com melhoria da qualidade dos desenhos, até um melhor gerenciamento do projeto [54, 63, 64].

Não obstante, o CAD só terá todo seu potencial aproveitado, inclusive justificando-se técnica e economicamente, se for integrado ao processo produtivo como um todo. Em uma estrutura integrada, o CAD proporciona, além dos ganhos intrínsecos ao projeto do produto, aumento da eficiência das funções relacionadas ao planejamento, fabricação e qualidade, subsidiando o CAP, o CAPP, o CAM (inclusive a programação NC) e o CAQ, via base de dados geométricos e tecnológicos [12].

O estudo da integração CAD/CAPP/CAM com ênfase na programação NC, objetivo básico deste capítulo, impõe a apresentação e análise de alguns conceitos e técnicas utilizadas ainda no ambiente de projeto, relacionados à aplicação do conceito de projeto orientado à fabricação.

3.2.2.1 Modelamento Geométrico e Representação de Dados

Todo componente antes de ser completamente documentado, deve ser modelado, ou seja, ter definidas as entidades geométricas que o compõem [54]. Pode-se definir modelamento como o processo de desenvolvimento da descrição matemática do objeto (modelo) [14, 65].

Os métodos de modelamento mais freqüentemente utilizados são [19]:

- "wire frame";
- "primitive instancing";
- "spacial occupancy enumeration";
- "cell decomposition";
- "constructive solid geometry" (CSG);
- "boundary representation" (B-rep);
- "sweeping".

Uma classificação mais ampla poderia dividir os métodos, basicamente, em três categorias:

- "wire frame";
- representação de superfícies;
- representação de sólidos.

Em cada método o objeto modelado é representado por determinado conjunto de dados. Estes dados são, então, armazenados de forma organizada, para que se obtenha as relações entre os elementos que compõem o modelo (estrutura do modelo) e os atributos que representam os vários aspectos do objeto [66]. Assim, dependendo da técnica de modelamento, o objeto pode ser representado por pontos, linhas, curvas ou círculos ("wire frame") [19, 67] ou por primitivas sólidas como cubos, cones e cilindros, associados a operadores booleanos (CSG) [65] ou ainda por faces, lados e vértices, associados a informações geométricas e topológicas (B-rep) [66, 68].

A aplicação eficiente de um determinado método será guiada basicamente pelo tipo de modelo a ser desenvolvido (mecânico, elétrico).

Embora o modelamento via "wire frame" seja o método mais conhecido e utilizado, não se pode dizer que exista um padrão em metodologia. Em alguns casos, torna-se necessário o uso simultâneo de duas ou mais técnicas, caracterizando um modelamento híbrido [66].

Embora largamente utilizada, o modelamento 3D pode apresentar inconvenientes como [19, 54]:

- exigência de equipamentos de grande porte;
- necessidade de pessoal treinado;
- utilização de muitos "cortes" em peças complexas;
- possibilidade de desenhos incorretos;
- interação gráfica pobre;
- lacunas em termos de troca de dados entre representações.

3.2.2.2 Macros e "Features"

Apesar de todo o desenvolvimento na área, observa-se que nenhuma técnica de modelamento se apresenta completamente apta a satisfazer o nível de definição de produto, necessário à efetiva integração CAD/CAPP/CAM. Torna-se necessário a aplicação de técnicas que, além de oferecerem as vantagens e possuírem os recursos dos métodos anteriormente citados, estejam aptas a apresentar, ao planejamento e à fabricação, um projeto em uma forma tão completa e coerente quanto possível.

Para tanto, uma abordagem que se baseie em uma descrição do modelo, que capture tanto formas geométricas quanto atributos

de engenharia, de forma simultânea, torna-se necessária. A base desta abordagem é o conceito de "features". A literatura apresenta inúmeras definições formais deste conceito [69, 70, 71, 72, 73].

De um ponto de vista mais amplo, pode-se definir "features" como entidades que capturam características e propriedades de áreas locais de um objeto ou produto [73]. Podem ser compostas de elementos de natureza física ou conceitual, ajustados e organizados para prover parte de uma definição ou implicar na realização de determinada tarefa. Sob uma ótica mais restrita, uma "feature" pode ser descrita como elemento ou região de um componente, produzida por determinado processo de fabricação (por exemplo, um furo) [70]. Por sua vez, e de forma mais abrangente, um "macro" corresponderia a um agrupamento de elementos como este, onde os mesmos mantivessem uma determinada disposição entre si (ex. círculo de furos).

A partir de necessidades impostas ao produto no seu ciclo de produção, suas "features" podem incluir informações relacionadas a sua geometria, topologia, dimensão, material, tolerâncias etc. Este conjunto de "informações interassociadas" poderia ser utilizado tanto na realização de atividades de projeto/análise (CAD/CAE), quanto no desempenho de funções de planejamento (CAPP), fabricação e montagem (CAM) e inspeção (CAQ).

"Features" utilizadas em projetos de engenharia e atividades de fabricação dependem de aspectos como o tipo de produto, da aplicação das mesmas e dos processos envolvidos. Assim, pode-se identificar os seguintes tipos de "features" [72]:

- . de forma - regiões da geometria;
- . de precisão - tolerâncias, acabamentos superficiais;
- . de material - aspectos e/ou propriedades do material;

- . tecnológicos - aspectos de desempenho;
- . de montagem - encaixes, folgas, juntas;
- . para elementos finitos - informações associadas a modelos de FEM ("Finite Element Method");

Exemplos de aplicação são o planejamento do processo e a programação NC. Para o primeiro caso, uma "feature" deve armazenar informações como diâmetro daquele furo, para escolha das ferramentas, valores para diferentes tipos de tolerâncias para seleção dos processos etc. Para a programação NC, além das dimensões do furo, devem estar armazenadas informações sobre sua orientação, posição e outros dados, para a determinação do percurso de cada ferramenta.

Normalmente, modelos convencionais desenvolvidos por sistemas CAD não permitem definição de entidades físicas a partir de determinado conjunto de entidades geométricas, como linhas, arcos etc. Utilizando-se o conceito de "features", entidades comuns como furos, rasgos e cavidades são definidas de tal forma, que possam ser acessadas e manipuladas sem se referirem aos elementos geométricos individuais que as compõem.

A aplicação deste conceito permite maior grau de integração entre o projeto (CAD) e funções de planejamento e fabricação, uma vez que o modelo computacional do produto é construído e organizado de forma que possa prover implícitas instruções ao CAPP e ao CAM de como interpretá-lo e processá-lo. No caso dos processos de usinagem, pode existir associações entre "features" e determinadas operações ou seqüência de operações, facilitando a integração CAD/CAPP. Tais facilidades podem se refletir, também, na programação NC, direcionando, através de

informações consistentes, máquinas-ferramentas como centros de usinagem, tornos etc, pela associação de determinadas "features" a ciclos especiais, disponíveis nos CNC.

A aplicação do conceito de "features" endossa a filosofia de projeto orientado à fabricação, pois além de proporcionar maior consciência ao projetista das implicações impostas à fabricação por sua atividade, contribui para a padronização de uma única linguagem a ser praticada entre os diversos setores da produção. Outros aspectos e características relativas a este conceito podem ser vistos em [74, 75, 76].

3.2.2.3 A Parametrização no Projeto (CAD)

A programação paramétrica, em ambiente CAD, é uma técnica que pode provocar um significativo aumento de produtividade na geração de desenhos. Além disso, se utilizada de acordo com a filosofia de "features", pode facilitar a integração CAD/CAPP/CAM, também no que concerne a programação NC.

Normalmente, termos como "símbolo", "shape", "graphic cell" e "macro" são usados indistintamente, tanto por usuários quanto por fornecedores de sistemas CAD, para designar programas paramétricos. Algumas justificativas para estes termos podem ser vistas em [77].

Programas paramétricos podem ser definidos como listas estruturadas de comandos e instruções do sistema CAD hospedeiro. Assim, um programa paramétrico cuidadosamente escrito pode utilizar todos os recursos do sistema CAD ao qual está integrado, sem, no entanto, desfigurá-lo, reduzindo significativamente a soma de interações necessárias à confecção de um desenho.

A literatura apresenta quatro tipos básicos de programas paramétricos [77]:

- execução automática;
- "repetitive housekeeping";
- controle de monitor;
- componentes parametrizados.

O último tipo de programa paramétrico é o mais freqüente e convencionalmente utilizado. Neste tipo, comandos do sistema CAD, necessários à criação do desenho de um componente ou de determinadas partes deste componente, são estruturados em um programa, alocado em arquivo. Atributos de cada comando são substituídos por parâmetros, onde necessário. Uma vez acionado e a partir de alguns dados iniciais fornecidos pelo usuário (interativamente) ou pelo próprio sistema, o programa executa, de forma seqüencial, os comandos listados, alocando valores numéricos aos parâmetros envolvidos. Desta forma, produz desenhos de componentes de variados aspectos se executados a partir de diferentes valores para os parâmetros. Além disso, podem gerar desenhos praticamente completos, que necessitam de pequenos ajustes para sua versão final [77, 78].

Uma técnica freqüentemente utilizada para entrada de dados nos programas paramétricos, é o uso de sistemas de numeração dos componentes. Podem ser usados tanto números seqüenciais quanto descritivos. O programa paramétrico lê o número dado ao componente, o interpreta e, com base nesta interpretação, aloca os devidos valores aos parâmetros. Obtem-se com isso sensível diminuição do número de "prompts" necessários à execução do programa.

Algumas tentativas têm sido feitas no sentido de se criar programas paramétricos com mais recursos, inclusive com emprego de técnicas de Inteligência Artificial [78] ou através da aplicação do conceito de "restrições" [58]. Por se tratar de pesquisas recentes, ainda não se produziu resultados significativos, embora encorajadores.

A programação paramétrica em ambiente CAD pode oferecer algumas vantagens. A mais óbvia é o menor tempo gasto para o desenvolvimento de um desenho, quando comparado aos métodos normais, com grande quantidade de interações. Retira-se da responsabilidade do projetista algumas tarefas repetitivas, levando-o a investir seu tempo em atividades mais voltadas à criatividade e inovação. Outra vantagem é a imposição de certos padrões, que dificultam a ploriferação de projetos desnecessários ou redundantes. Estes padrões podem ser mantidos através da uniformidade associada ao conceito de famílias de peças [79], sistematizando, e com isso facilitando, o trabalho dos setores de planejamento e fabricação.

Programas paramétricos implementados eficientemente facilitam a integração do projeto às demais áreas. Sua utilização promove melhor estruturação dos arquivos gráficos do CAD, fazendo com que os dados, geométricos e tecnológicos, sejam armazenados de forma mais organizada e racional, melhorando a interface do CAD com outras funções. Com relação à programação NC, fica facilitada, a partir da interpretação do arquivo gráfico, a associação entre conjuntos de dados paramétricos e determinados ciclos e/ou tarefas para a geração automática dos programas ou mesmo de trechos dos mesmos.

3.2.2.4 Arquivos Gráficos

A capacidade do CAD em integrar-se ao processo produtivo depende sobremaneira das suas interfaces com as demais áreas e, por conseguinte, da estrutura de seus arquivos de dados.

O arquivo gráfico é um dos aspectos mais importantes dos sistemas gráficos, pois representam, modelam e armazenam, em linguagem computacional, a estrutura geométrica dos componentes projetados com auxílio do CAD. Seu objetivo básico é servir de meio de comunicação entre o CAD e as diversas funções que compõem o sistema produtivo, incluindo-se o CAP, o CAPP, o CAM e o CAQ. Entretanto, a grande maioria das propostas de solução e normas produzidas visa apenas definir mecanismos de troca de informações entre diferentes sistemas CAD.

Esta troca de informações pode se realizar segundo duas metodologias básicas. Na primeira delas, a comunicação entre os diferentes sistemas se dá através de tradutores diretos. Neste caso, há um tradutor específico para cada par de sistemas (figura 3.5a), que interpreta o conteúdo de arquivos de dados gerados por um determinado sistema e os traduz a um formato compatível a um outro sistema. Os maiores problemas encontrados na utilização desta metodologia relacionam-se ao caráter específico dos tradutores diretos, não preenchendo os requisitos globais de integração, à complexidade de sua elaboração e à quantidade de novos tradutores necessários, no caso de inclusão de sistemas adicionais.

A segunda estratégia de solução baseia-se na adoção de um formato padrão que serviria de arquivo neutro para a troca de dados. Todos os sistemas CAD montariam seus arquivos neste

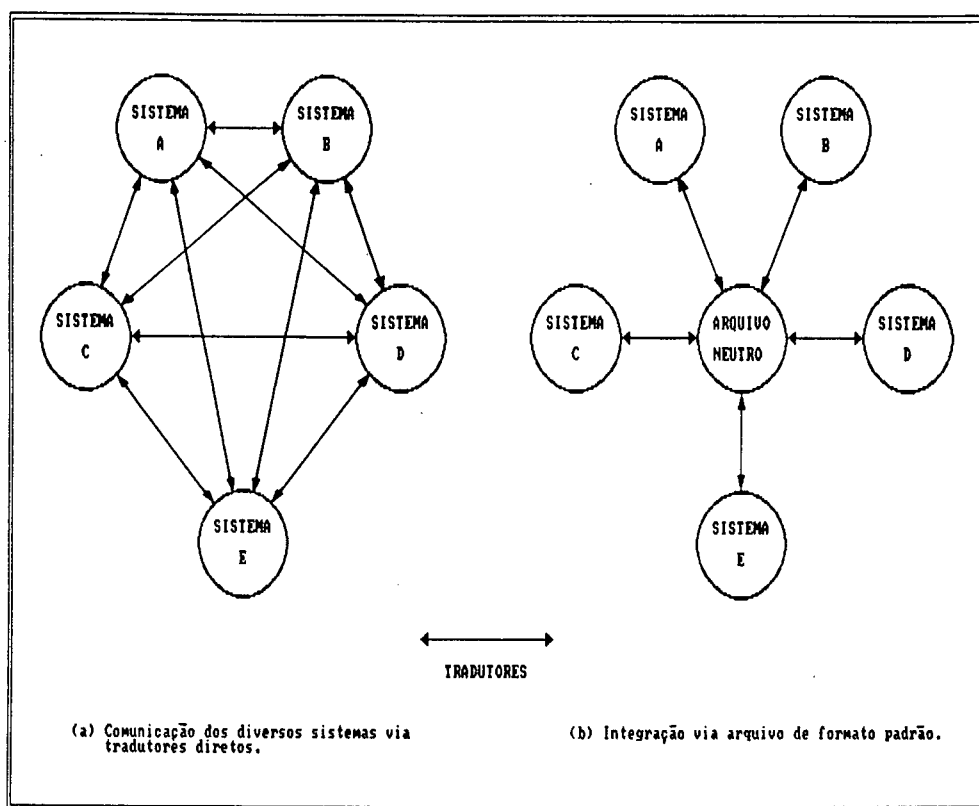


Figura 3.5- Base de dados do CAD: metodologias para troca de informações entre diferentes sistemas [12].

formato, através de pré e pós-processadores, facilitando a troca de informações (figura 3.5b). Trata-se de uma solução mais moderna, devido principalmente à padronização imposta e à maior flexibilidade, beneficiando estratégias de integração. Entretanto, a adoção efetiva desta solução esbarra na não existência de uma única norma regendo esta troca de informações. A tabela 3.1 apresenta uma lista de normas e padrões, cada um diferindo em estágio de desenvolvimento e aplicação. Desta lista destaca-se o IGES [81], sendo o mais difundido. Aspectos e características dos principais arquivos gráficos podem ser vistos em [82, 83, 84, 85]. Estudos mais detalhados acerca do padrão IGES são apresentados em [86, 87, 88, 89].

The Initial Graphics Exchange Specification (IGES)
The German Automotive Industry Association VDAFS
The U. S. Air Force Product Definition Data Interface (PDDI)
The French Aerospatiale Corporation (SET)
The CAM*I Applications Interface Specification (AIS)
The Ford Motor Company Standart Tape
The Chrysler Corporation Standart File
The GM Corporation Data Exchange Standart (DES)
The British Leyland Austin Rover Group Neutral File
The Intergraph Corporation Standart Interface Format (SIF)
The Product Data Exchange Standart (PDES)
The Standart Exchange of Product Model Data (STEP)

Tabela 3.1- Normas e padrões para troca de informações entre sistemas CAD [80].

Além da metodologia empregada na transferência de dados, outro aspecto importante é o tipo de informações armazenadas pelos arquivos de dados do CAD.

De maneira geral, os sistemas CAD trabalham de forma estrutural bastante diversa. A representação de modelos geométricos pode variar apreciavelmente de sistema para sistema, mesmo que o conteúdo semântico dos elementos modelados seja similar [90]. Paralelamente às diversas técnicas de modelamento geométrico empregadas, são utilizadas diferentes representações para entidades geométricas e não-geométricas, topologia, atributos, propriedades etc. Exemplos são os métodos de ajuste de curvas e representação de superfícies [80]. Esta diferença de representação influencia no modo como as entidades são organizadas e armazenadas na base de dados do CAD, por conseguinte, influenciando diretamente no montante e no tipo de informações contidas nos

arquivos gráficos. Esta dependência se reflete nos padrões gráficos, fazendo com que cada padrão seja mais afeito a um determinado campo de aplicações. Este quadro dificulta sobremaneira a adoção de um único padrão que satisfaça todas as necessidades na troca de informações entre sistemas.

Não obstante todo este contexto, algumas pesquisas relacionadas a esta integração têm sido desenvolvidas, acenando com novas perspectivas com respeito a um padrão que satisfaça todas as exigências a ele impostas. Todos os esforços neste sentido convergem para o desenvolvimento e aplicação do STEP ("Standart of Exchange of Product Model Data") como padrão para a troca de informações de produto.

O STEP extrapola o modelo geométrico do IGES modificando-o para permitir agregar as necessárias características topológicas e tecnológicas que complementam a descrição de um produto [12, 90]. Trata-se de um projeto desenvolvido no âmbito da ISO, já publicado em versão preliminar [91].

3.3 CONCEITOS DE PLANEJAMENTO DO PROCESSO E CAPP

Planejamento do processo vem sendo definido como "a determinação sistemática dos métodos através dos quais um produto deve ser fabricado economica e competitivamente" [92]. Em um maior nível de detalhamento, trata-se da determinação e seleção de máquinas, ferramentas, condições tecnológicas e instruções de trabalho necessárias para converter a matéria-prima em produto acabado, baseado em seu projeto previamente concebido [93].

O planejamento do processo pode ser subdividido em dois níveis distintos [17, 94]:

- planejamento global ou "macro";
- planejamento detalhado ou "micro".

O primeiro nível envolve atividades relacionadas ao planejamento do processo de fabricação de uma determinada peça, esta considerada como um todo, incluindo-se:

- seleção da matéria-prima;
- seleção dos processos e operações;
- desenvolvimento da seqüência de operações;
- seleção das máquinas-ferramentas.

O segundo nível envolve o planejamento de detalhes relativos a cada operação individualmente. Incluem-se:

- determinação de planos de corte;
- cálculo dos parâmetros de corte;
- seleção das ferramentas e fixações;
- cálculo de tempos.

O resultado desta atividade é um plano de processos contendo todas as informações necessárias à fabricação da peça [95]. A criação deste plano ou folha de processos é uma atividade crucial à eficiente operação das empresas. Uma vez que se tenha o projeto do produto, o trabalho do planejamento do processo pode exercer maior impacto sobre custos, qualidade e taxas de produção do que qualquer outra atividade no âmbito da empresa.

Ao contrário do projeto onde ainda a representação gráfica significa a maior parte das informações necessárias, o planejamento do processo é caracterizado pela grande diversificação das informações envolvidas, cobrindo [96]:

- meios de produção (processos, máquinas, dispositivos, ferramentas etc);
- material (matéria-prima, materiais auxiliares etc);
- trabalho (treinamento, conhecimento dos processos, movimentos e ações dos profissionais etc).

Este caráter diverso dos dados faz com que o planejamento do processo tradicional muitas vezes se mostre pouco produtivo, uma vez que torna muito difícil a operacionalização de todas as tarefas envolvidas, de forma racional e sistemática. Além disso, se mostra inadequado a filosofias de integração da manufatura (CIM), fazendo-se necessário o desenvolvimento de ferramentas computacionais que possam sistematizá-lo ou até substituí-lo.

3.3.1 Planejamento do Processo Auxiliado por Computador (CAPP)

O CAPP é o elo de ligação entre o CAD e o CAM. A partir da análise dos elementos que definem o projeto, o CAPP elabora os planos de processo contendo todas as informações necessárias à fabricação da peça. O CAM, por sua vez, de posse dos planos de processo, acompanhados dos desenhos da peça, pode traduzir estas informações em programas NC (preparação) e depois executá-los. O processo de criação dos planos, independente da técnica empregada pelo CAPP, baseia-se em um mesmo critério básico (figura 3.6) [97].

A primeira investida em CAPP se deu em meados dos anos 60, quando Niebel apresentou a idéia do uso da velocidade e consistência do computador como ferramenta auxiliar à criação dos planos de processo. Em 1966 Schenck apresentava seu trabalho de

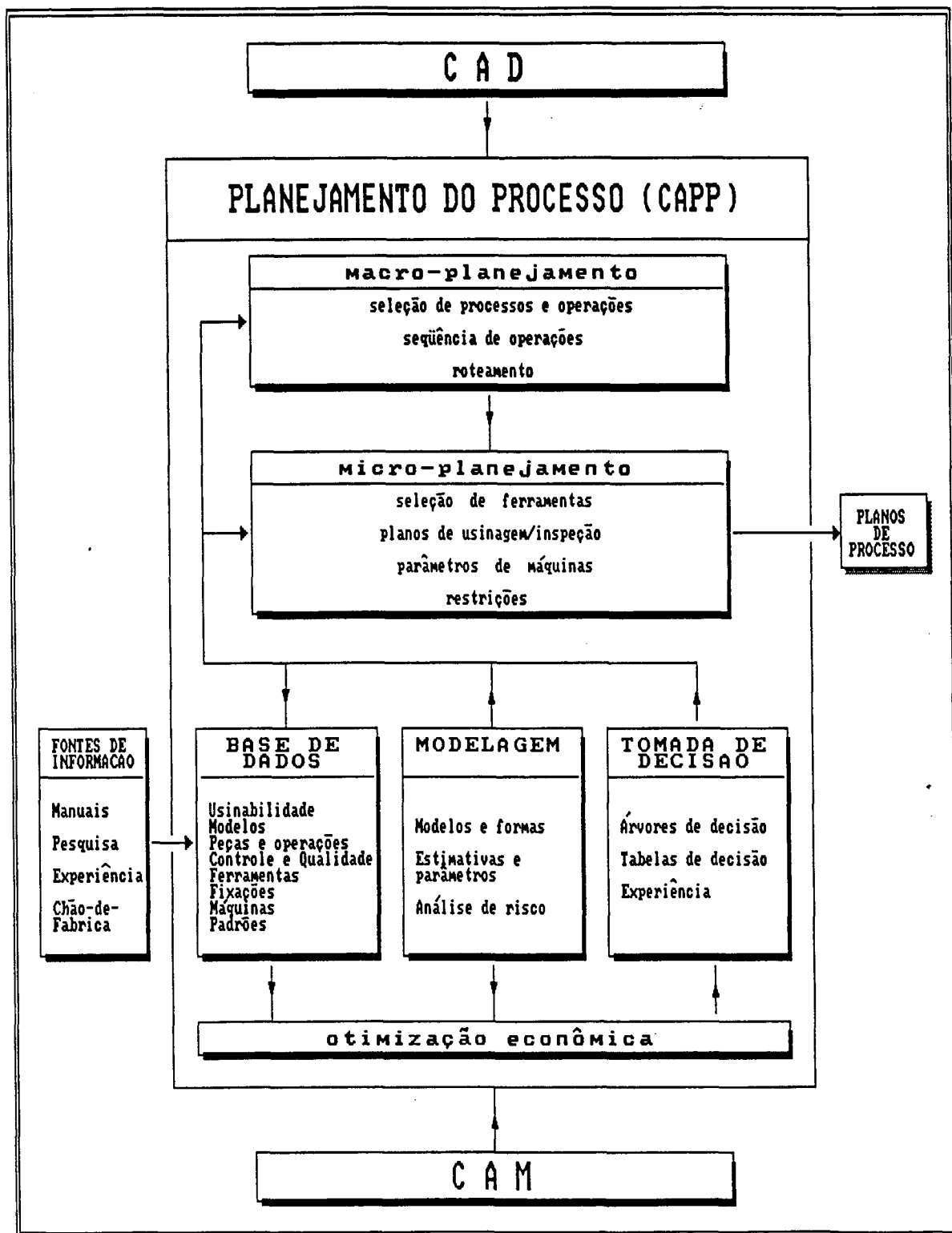


Figura 3.6- Etapas da elaboração de planos de processo em ambiente automatizado (CAPP) [12].

doutoramento abordando a "exeqüibilidade da automatização do planejamento do processo" [92]. Apesar de algumas boas idéias, pesquisas em torno de sistemas CAPP não evoluíram muito até meados da década de 70. Limitações de hardware e software e o empirismo e isolamento das atividades e processos de fabricação eram as principais causas deste atraso. O ano de 1976 marcou como o mais importante até então, pois surgiram os sistemas "CAPP" (CAM*I) e "MIPLAN". Um ano depois, Wysk apresentava o sistema "APPAS". A partir daí, o declínio da oferta de processistas, as pesquisas em automação flexível, o rápido avanço da informática e o desenvolvimento nas áreas de CAD e CAM impulsionaram a implementação de sistemas CAPP.

3.3.2 As Técnicas de CAPP

Sistemas CAPP podem ser classificados segundo vários critérios [17]. A classificação mais difundida leva em conta a técnica empregada para geração dos planos de processo, ou seja, a forma como o CAPP aborda o tratamento dos dados. De acordo com este critério, os sistemas CAPP podem ser classificados em variante, generativo e semi-generativo [92, 98].

a) O princípio variante

Este método, baseado nos conceitos de Tecnologia de Grupo, utiliza similaridades entre elementos para identificar, recuperar e editar os planos de processos. Um CAPP variante trabalha em dois estágios: preparatório e de produção [24].

No estágio preparatório (figura 3.7a) os componentes existentes são classificados e codificados e posteriormente agrupados em famílias. A formação das famílias pode obedecer a critérios tanto de geometria quanto de processos de fabricação dos componentes. São elaborados planos de processo para cada família de peças, denominados planos padrão. Estes são, então, armazenados na base de dados do CAPP [19].

No estágio de produção (figura 3.7b) o componente a ser processado é codificado, e este código serve de "input" a rotinas computacionais que fazem a procura da família na qual o novo componente pode ser enquadrado. O CAPP, então, recupera o plano padrão referente àquela família e o apresenta ao processista, que o edita, promovendo as modificações necessárias, visando torná-lo aplicável ao componente em questão. Outras rotinas computacionais podem ser adicionadas para tornar o sistema mais completo (ex. cálculo de parâmetros de corte, tempos etc.).

Observa-se que, neste método, o computador serve principalmente como ferramenta de apoio ao processista. Este apoio se baseia notadamente em recursos de gerenciamento e recuperação de dados e confortos na edição/modificação do plano, poupando o processista de tarefas repetitivas [99].

Um sistema CAPP variante, principalmente no seu estágio de preparação, depende em muito da figura do processista, devido a atividade de preparação dos planos padrão. Estes guiarão os custos, a qualidade e a eficiência do plano final. Já no estágio de produção, não é necessário que todos os processistas possuam larga experiência, uma vez que o sistema impõe filosofias e metodologias a serem seguidas.

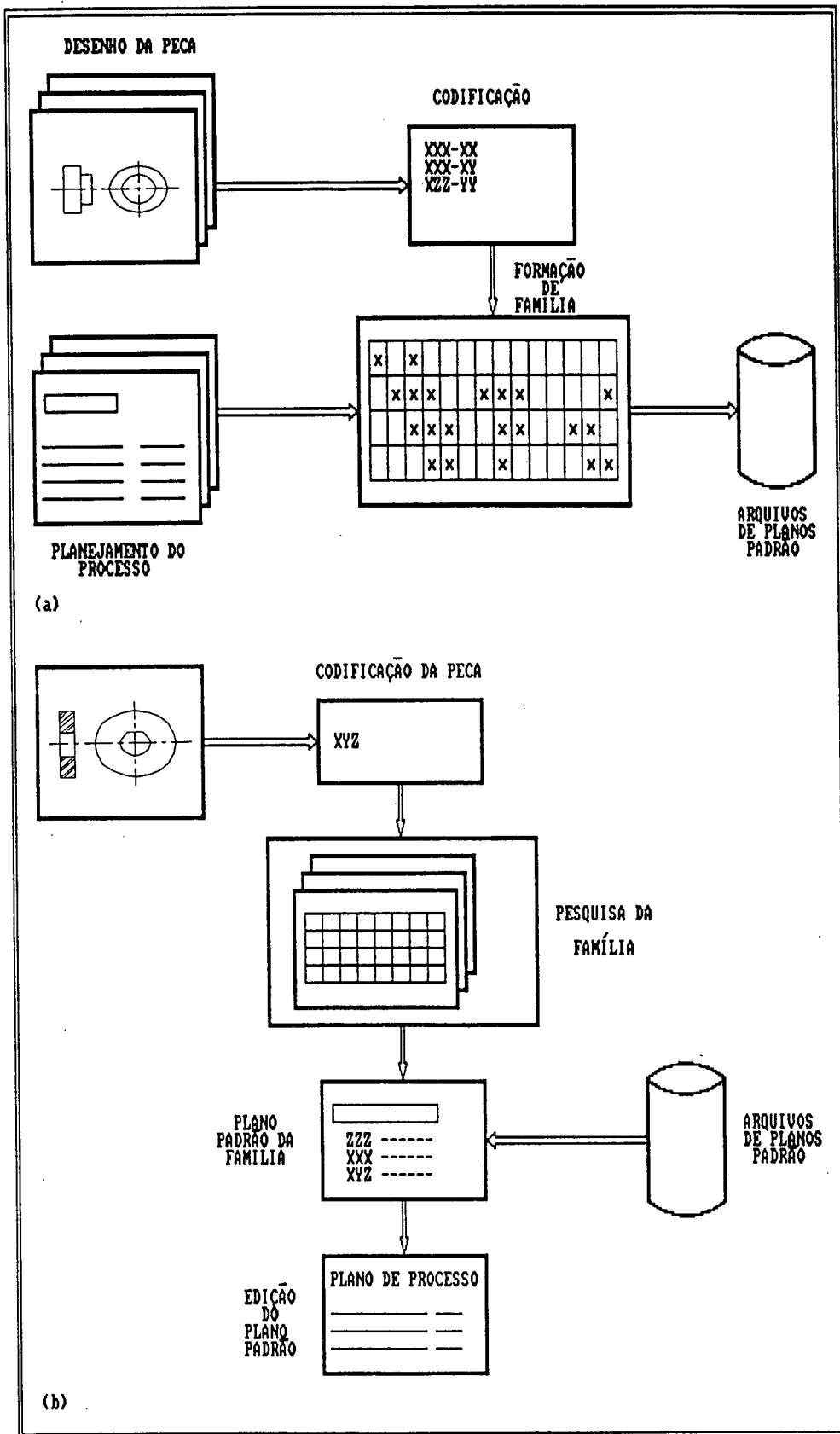


Figura 3.7- Sistema CAPP variante: (a) estágio preparatório (b) estágio de produção.

Levando-se em conta suas características principais, pode-se observar que o CAPP variante é mais eficientemente aplicável em empresas onde [19, 99, 100, 101]:

- a maioria dos novos componentes possa ser enquadrada nas famílias de peças previamente definidas;
- a quantidade de famílias não seja muito grande;
- o ambiente de fabricação permaneça estático (poucas modificações em máquinas, ferramentas e materiais);
- sejam necessárias poucas alterações nos planos;
- componentes similares sejam produzidos repetitivamente (lotes maiores com menor diversificação).

As principais vantagens e desvantagens oferecidas por um CAPP variante podem ser vistas em [19, 54, 92, 99, 100]. Exemplos de bem sucedidos sistemas CAPP baseados neste princípio são o CAPP da CAM-International [24], o MIPLAN [92] e o AUTOCAP [102].

b) O princípio generativo

Um CAPP generativo pode ser concisamente definido como um sistema que captura a lógica desenvolvida a partir dos processos de fabricação para, através de regras e formulações matemáticas, criar, automaticamente, planos de processos para novos componentes [12]. Simula a lógica de decisão do processista, montando um seqüenciamento adequado e otimizado, além de automatizar funções como seleção de máquinas e ferramentas, determinação dos parâmetros de corte, cálculo de tempos etc [19].

Em um CAPP generativo puro não há pré-definição e armazenamento de planos padrão: é gerado um plano de processos

distinto para cada novo componente [99]. Os principais aspectos envolvidos na estrutura de um sistema CAPP generativo são [24]:

- formato dos dados de entrada (descrição da peça);
- "sentido de planejamento";
- lógica de decisão.

Análise detalhada sobre sentido de planejamento e lógica de decisão, tendo em vista que se tratam de aspectos relacionados à estrutura interna dos sistemas CAPP, foge ao escopo do trabalho. Maiores detalhes podem ser vistos em [24, 92, 103, 104, 105].

Os dados de entrada, que descrevem a peça a ser processada, devem conter informações sobre as características geométricas e tecnológicas do componente, ou seja, dados relativos à geometria (peça bruta e acabada), dimensões, tolerâncias, material etc. O conteúdo e o formato desses dados podem afetar diretamente a facilidade com a qual o CAPP pode ser utilizado e até mesmo seus recursos.

Dado que um componente pode ser efetivamente modelado em um sistema CAD, as pesquisas se concentram na possibilidade de utilização deste modelo como entrada direta ao CAPP. Este modelo conteria todas as informações sobre a peça, e assim proveria dados para todas as funções do planejamento do processo. Entretanto, a aplicação desta metodologia esbarra em alguns problemas relacionados às técnicas de modelamento geométrico existentes (estes problemas serão abordados nos próximos itens).

Dadas as suas características principais, pode-se dizer que o CAPP generativo seria mais indicado a empresas que possuam grande quantidade de produtos de linha e que trabalhem com lotes pequenos e/ou médios. Dentro de uma filosofia de CIM são os mais

atrativos, haja visto suas potencialidades em termos de integração a outras tecnologias auxiliadas por computador (CAD, CAE, CAM) [92, 96].

Embora de potencialidade comprovada, o CAPP generativo não atende completamente os requisitos da prática, não sendo ainda uma realidade em ambientes fabris [17, 68, 106]. A dificuldade de elaboração de formulações matemáticas precisas e a complexidade do processo de decisão, muito dependente da experiência, de avaliações subjetivas e dos constantes avanços tecnológicos, são as principais razões que impedem sua completa implementação [12]. Outro obstáculo é a transformação dos dados que descrevem a peça e regras de decisão em um formato compatível ao computador [19]. Entretanto, espera-se que estas dificuldades possam ser contornadas, principalmente pelo rápido desenvolvimento na área de Inteligência Artificial. Pesquisas neste sentido têm sido conduzidas em várias Universidades e Centros de Pesquisa. A literatura cita, como mais importantes CAPP generativos, os sistemas APPAS [19], TIPPS [24], CAPSY [107], XPLANE [108], GARI [109], TURBO-CAPP [110] e TOM [111].

c) O método semi-generativo

O CAPP semi-generativo agrupa características de variantes e generativos [92, 98]. Baseia-se na essência do método generativo e incorpora algumas ferramentas disponíveis ao CAPP variante, principalmente conceitos de GT, trabalhando de forma puramente interativa [17, 112]. Por chegar mais próximo aos generativos, reduz a interação com o usuário, através de características como seqüências padrão de operações, tabelas de

decisão e formulações matemáticas adicionais. Não é completamente generativo, mas pode ser extremamente útil em termos de ganhos de tempo e custo. O CAPP semi-generativo pode ser tratado como um estágio de transição, rumo ao generativo puro. Exemplos de sistemas CAPP semi-generativos são o ACAPS [113] e ASUPLAN [114].

3.4 PROGRAMAÇÃO NC INTEGRADA A SISTEMAS CAD E CAPP

3.4.1 O Ciclo CAD/CAPP/CAM

O fluxo de dados que estabelece o ciclo entre projeto, planejamento do processo e fabricação, com ênfase na programação NC apoiada em sistemas CAD e CAPP, pode ser visto na figura 3.8.

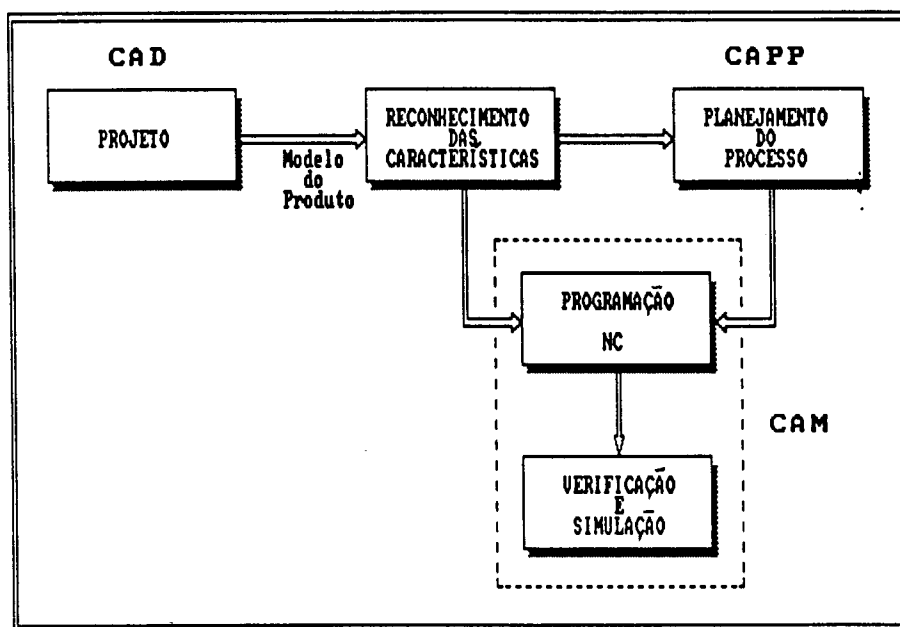


Figura 3.8- Fluxo de dados na programação NC integrada a sistemas CAD e CAPP.

A primeira etapa do processo é o desenvolvimento do modelo e documentação do componente. Na construção de um modelo

que se enquadre em filosofias de integração, é importante o emprego de técnicas que viabilizem a aplicação do conceito de projeto orientado à fabricação. A aplicação deste conceito passa por:

- utilização de métodos de modelamento que possam representar corretamente os dados que definem e descrevem o produto;
- padronização do formato dos arquivos gráficos que armazenam estas informações;
- emprego de técnicas de parametrização, níveis etc.

O próximo passo é a interpretação automática do arquivo de dados do CAD, visando o reconhecimento e extração das características do modelo, baseado nas informações geométricas, topológicas e tecnológicas armazenadas na base de dados do projeto. Entidades como furos, cavidades, rasgos e chanfros, em conjunto com dados sobre posicionamento, tolerâncias, acabamentos superficiais etc, são reconhecidas para produzir um novo modelo voltado às tarefas de planejamento e fabricação, transportando informações que serão passadas ao CAPP e ao CAM [115, 116].

O CAPP, valendo-se desses dados de entrada, gera o plano de processos para a fabricação do produto. Processos e operações são associados às características e informações extraídas do modelo. Estabelece-se, através de uma lógica, um seqüenciamento adequado e otimizado, englobando seleção de máquina(s), ferramenta(s) e fixação(ões), cálculo dos parâmetros de corte etc. Estas informações, em conjunto com dados geométricos provenientes da base de dados do CAD, alimentarão o sistema de programação NC.

A geometria da peça que será programada, assim como as informações advindas do CAPP, devem ser transferidas de forma

automática ao sistema de geração dos programas NC [117]. Assim, seqüências de códigos são gerados para cada operação, até que sejam cobertas todas as operações. Estas, associadas às características geométricas do modelo, podem se relacionar a ciclos pré-estabelecidos, que definem o percurso das ferramentas, auxiliando na geração do programa NC [106]. Com o programa disponível, realizam-se testes de verificação e simulação para sua validação.

3.4.2 Problemas na integração CAD/CAPP/CAM

O problema da integração entre sistemas CAD/CAPP/CAM é, basicamente, associado ao equacionamento do fluxo de informações. Deve haver habilidade nos mecanismos de acesso e transferência de informações, que permita que uma informação, oriunda de um dado sistema, possa ser entendida por outros sistemas, com um mínimo de intervenção humana. Além disso, é importante que se possa ter uma transmissão bilateral de informações: deve ser factível, por exemplo, tanto a transmissão de informações do CAD para o CAM, quanto no sentido inverso, quando forem necessárias modificações tecnológicas no ambiente do CAM [118].

Em outras palavras, pode-se dizer que o problema da integração será endereçado se as informações envolvidas forem corretas e completas, interpretáveis pelos computadores e disponíveis quando e onde necessárias [54]. Um requisito indispensável é o controle das interfaces entre os sistemas envolvidos, além de seus recursos [55, 116].

A literatura apresenta grande quantidade de modelos que propõem integração da programação NC a sistemas CAD e CAPP.

Entretanto, esbarram em limitações provocadas por problemas relacionados principalmente às técnicas de modelamento, ao formato dos arquivos gráficos, à representação de dados no CAD e aos recursos do CAPP. O STEP será, provavelmente, o instrumento para viabilização desta integração, equacionando muitos dos problemas encontrados. Os principais problemas são:

- a) inadequação da representação das informações na base de dados do CAD, aos requisitos impostos pelo CAPP; os métodos de modelamento usuais e os arquivos de dados do CAD não tratam os dados tecnológicos, principalmente quando associados à geometria e topologia, não permitindo o reconhecimento de uma linguagem aceitável ao CAPP [116, 119, 120].
- b) incompatibilidades, entre sistemas CAD e CAM, com relação a precisão dos dados geométricos armazenados; as exigências de precisão geométrica na programação NC são geralmente maiores do que as necessárias para manipulação e plotagem das imagens [117];
- c) limitações na geometria aceita pelo CAM para geração dos programas NC. A utilização, no CAD, de recursos como por exemplo os métodos de interpolação ou ajuste de curvas, pode causar problemas para definição do percurso da ferramenta [20];
- d) no modelamento "wire frame", geralmente são necessários dados de entrada adicionais ao modelo geométrico, para um correto desempenho dos sistemas CAPP e CAM [94];
- e) o processo de elaboração dos modelos sólidos pode conter inconsistências, pois um mesmo objeto pode ser modelado de

diferentes maneiras, dificultando a geração de instruções de fabricação a partir deste modelo; abordagens como B-rep ou CSG, nas quais cavidades são reconhecidas através de relações espaciais entre volumes primitivos, não provém qualquer informação semântica que possa ser associada a volumes usinados [70, 92, 106];

- f) apesar do modelamento baseado em "features" endereçar estes problemas, esta técnica ainda se encontra em estágio embrionário, com inúmeros problemas relacionados aos métodos de reconhecimento e extração de "features" [74];
- g) não existe um padrão definido a nível de arquivo neutro para transferência de dados de definição de produto; os padrões mais difundidos, na sua maioria, não se adequam a este tipo de transferência, pois foram concebidos originalmente apenas com o objetivo de resolver o problema da transferência de dados entre diferentes sistemas CAD; além disso, perduram problemas de falta de padronização dos arquivos gráficos [12].

3.4.3 Alguns sistemas de programação NC existentes

A tabela 3.2 ilustra o estágio atual de desenvolvimento da programação NC assistida, através da apresentação de um resumo das características e principais recursos de alguns dos sistemas de programação existentes na literatura. Alguns aspectos relevantes devem ser ressaltados:

- a) observa-se uma relativa especificidade dos sistemas no que tange à sua aplicação; na sua maioria não se tratam de

- sistemas genéricos, alguns inclusive dedicados a um único tipo de processo de usinagem (MICON, SAPOR-S e TurboCAPP);
- b) há predominância de sistemas voltados a processos ou operações caracterizados por contornos (torneamento, fresamento etc.);
- c) poucos sistemas utilizam o modelamento à base de "features"; a rigor, os sistemas que empregam esta técnica são os únicos a tratarem, na essência, os dados tecnológicos referentes à peça, informações extremamente importantes, quando se pensa na automatização do planejamento do processo;
- d) a grande maioria dos sistemas utiliza CAD específicos como entrada de dados geométricos; o sistema de programação trabalha como aplicativo, a partir de informações geométricas contidas nos arquivos gráficos de formato específico ao CAD em questão; poucos sistemas tem recursos de interpretação de arquivos de formato padrão (ex. IGES);
- e) em grande parte dos sistemas, os dados tecnológicos referentes ao processo (ex. valores dos parâmetros de corte) são fornecidos pelo usuário, de forma interativa; mesmo nos sistemas que executam o cálculo destes parâmetros, na maioria dos casos, o sequenciamento do processo de usinagem é determinado pelo programador.

SISTEMA	Característica Principal	Equip./Linguagem	Modelamento	Aplicação	Dados Geométricos	Dados Tecno. Peça	Dados Tecno. Processo
SmartCAM	GI-SL	IBM-PC/ XT/AT	2D 2 1/2D	F,T,P, EDM	EG ("SHAPE") CAD-Ext.	—	fornecido pelo usuário
AutoCAM	GI-SL	IBM-PC/ XT/AT	2D 2 1/2D	F,T,P, EDM	Interfacedado c/ CAD	—	fornecido pelo usuário
I/NC	GI-SL	32 bits UNIX	2D 3D	F,T	Interfacedado c/ CAD (I/EMS, I/DRAFT)	—	fornecido pelo usuário
ATP [121]	GI-CL	IBM-PC\ XT\AT	2 1/2D 3D	F,T, EDM	Linguagem ATP	—	forn. p/ usuário ou calc. p/ sist.
CADIS/ NC [122]	GI-SL	Siemens 7900/7700	2D 2 1/2D 3D	F,T,D, P,EDM	Interfacedado c/ CAD ("CADIS")	—	fornecido pelo usuário
ROMAPT [123]	GI-SL	PRIME 400 FORTRAN	3D	F,D	Interfacedado c/ CAD ("ROMULUS")	—	fornecido pelo usuário
MELCAD- SuperCAM [124]	GI-SL	32 bits	2D 2 1/2D 3D	F,T,EDM OxiCorte	3D- Interfacedado c/ CAD ("MODIF") 2D- EG	—	fornecido pelo usuário
MICON [125]	GI-SL		2D	T	Interfacedado c/ CAD ("AutoCAD")	fornecidos pelo usuário	calculados e armazenados pelo sistema
SAPOR-S [126]	CAPP GI-CL	FORTRAN	2D	T	Linguagem SAPOR-S	fornecidos pelo usuário	calculados e armazenados pelo sistema
GEOMAP III [127]	GI-SL		3D	D,F	Interfacedado c/ CAD ("GEOMAP")	fornecidos ao modelo sólido pelo usuário	fornecido pelo usuário
AUTAP- NC [128]	CAPP		"features"	P,T	Interfaceado c/ CAD ("UABKON") ou linguagem descritiva	arquivo do modelo da peça	calculados e armazenados pelo sistema
Turbo CAPP [110]	CAPP	PROLOG	2 1/2D	T	Interfacedado c/ CAD ("AutoCAD")	modelo geométrico	extraídos da base de dados do sistema
UWS2 [129]	CAD/ CAPP/ CAM	SUN-UNIX 32 bits	"features"	F,D	CAD Dedicado ("Design Editor")	modelo sólido	calculados e armazenados pelo sistema

LEGENDA: GI-SL - Gráfico-interativo sem linguagem
 GI-CL - Gráfico-interativo com linguagem
 F - Fresamento P - Puncionamento
 D - Furação T - Torneamento

Tabela 3.2a- Principais características/recursos dos sistemas de programação NC existentes (continua).

SISTEMA	Saída de Dados	Formato do prog. NC	Pos-Processadores	Arquivos/Modulos	Observações e Recursos
SmartCAM	Programa NC Fita DNC	Código G	genéricos	SmartCAM; MachineDEF; POSCAM; CAMConnection; Tape-to-Shape;	ciclos de desbaste; edição, manipulação e visualização de elementos gráficos da peça;
AutoCAM	Programa NC Fita DNC	CLFile ou APT	específicos	Geometria; Programação; Pós-proces.; PUNCR;	linguagem parametrizada p/ prog. de família de peças; biblioteca de símbolos e "layers";
I/NC	Programa NC Fita/Simulação/DNC	APT/Compact II CLFile Código G	genérico ("I/GENPOST") específicos ("I/MILLPOST" "I/3AXPOST" "I/TURNPOST")	I/EMS I/DRAFT I/NC	linguagem parametrizada (PPL - "Parametric Programming Language"); visualização de ferramentas e fixação em múltiplas vistas simultaneamente;
ATP	Programa NC Fita DNC	ATP ou Código G	específicos	Processador; Pos-Processadores; Programas de serviço;	geração do programa NC de forma descritiva (passo-a-passo) ou a base de macro-instruções (ciclos);
CADIS-NC	Programa NC Simulação	SIEAPT EXAPT 1.1 EXAPT 2	—	CADIS-NCS; MACROS (torneamento, furação e punção);	torneamento (def. de elem.); principais (cilindros, cones) auxiliares (rebaixos, quinas, rasgos);
ROMAPT	Programa NC Simulação	APT	—	APTALL; APTOPTIMAL; APTENQUIRE;	recursos adicionais ao ROMULUS: VIEW, ROTATE, SCALE, PROJECT, GENERATE, CANCEL, LABEL etc.
MELCAD	Programa NC Plotagem DNC/LAN	APT BCL (EIA RS-494)	específicos (escritos em "C")		DNC: controle de até 3 máquinas simultaneamente
NICON	Programa NC Folha de Proc. Simulação Tempos	Código G	—	Arquivos: ferramentas, contornos, máquinas, materiais, documentação;	ferramentas: 30 dif. tipos máquinas: campos de veloc., avanço, potência e dimensões; material: ctes de cada material (eq. de Taylor)
SAPOR-S	Programa NC Lista de Fer./Fixações Prep. da maq. Tempos	Código G	específicos	Modulos: Dados de entrada; BD; Processador; Pos-processadores;	Linguagem SAPOR-S baseada no idioma Servo-Croata; Arquivos: seqüências tecnol. materiais; ferramentas; máq.; pós-processadores;
GEOMAP III	Programa NC	EXAPT 1.1 EXAPT	—	Interface I/O; Processador; Manipulador do Modelo; GEOMAP;	furos; entidades especiais, produzidos por seqüência padronizada de operações;
AUTAP-NC	Programa NC Plano de Processos Plotagem	Ling. alto nível(DREHEN); CLFile (STANZEN); Código G	específicos	UABKON/FREKON; DETAIL2; AUTAP; AUTAP-NC; STANZEN/DREHEN;	CAPP Generativo
Turbo-CAPP	Arquivos BCL Plano de Processg Simulação	BCL (EIA RS-494) Código G	específicos	BD Dinâmica; BD Estática; Planner; CNC; PARA;	CAPP Generativo ("knowledge-based")
UWS2	Mensagens Imagem/Modelo peça acabada (LISP) Programa NC	Código G APT (ainda não implementado)	específicos (externos)	PMOS(Gerencia-mento); Design Editor; STE; PP (CAPP); DE (Data Execution)	planos de usinagem; série de operações parametrizadas;

Tabela 3.2b- Principais características/recursos dos sistemas de programação NC existentes (continuação).

CAPÍTULO IV

DESENVOLVIMENTO DE UMA METODOLOGIA

Este capítulo trata da solução proposta para viabilizar a integração da programação NC a sistemas CAD e CAPP. Inicialmente serão abordados alguns aspectos que servirão de base para a formalização de um modelo conceitual. A seguir, discorre-se sobre a estratégia adotada na operacionalização do modelo, na forma de um sistema computacional, apresentando-se sua estrutura e características principais.

4.1 CARACTERIZAÇÃO CONCEITUAL

Como discutido no capítulo anterior, o alcance da plena integração CAD/CAPP/CAM, no que concerne à programação NC, depende sobremaneira do aprimoramento de duas interfaces primárias (figura 4.1):

- interface CAD/CAM (aspectos geométricos da programação);
- interface CAPP/CAM (aspectos tecnológicos).

Serão discutidos separadamente, a seguir, aspectos relacionados a cada uma dessas interfaces. Os conceitos aqui abordados nortearão a concepção de um modelo de programação NC.

Do ponto de vista geométrico, tradicionalmente a atividade de produção de um programa NC pelo método manual clássico é tratada como um somatório de movimentos elementares. O programador divide a geometria da peça em percursos lógicos das

ferramentas utilizadas e descreve, linha a linha, o código que permite à máquina-ferramenta executar os movimentos necessários.

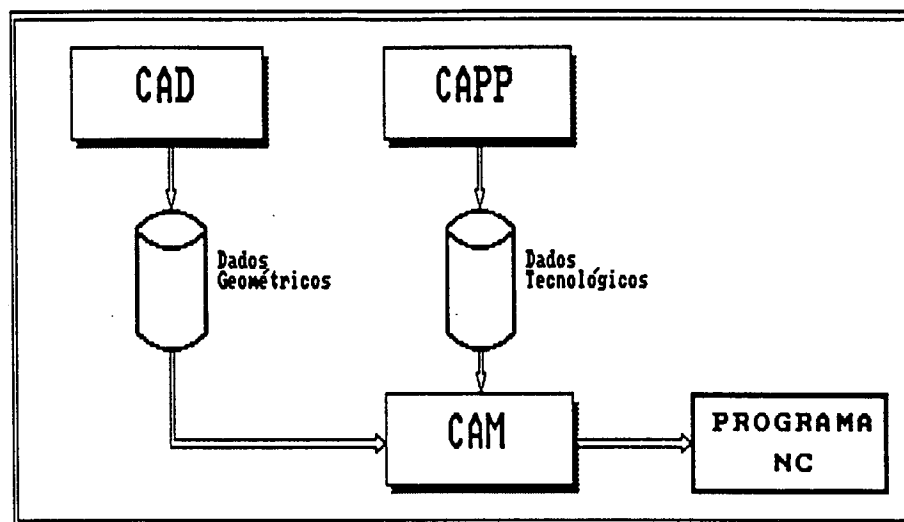


Figura 4.1- Integração de programação NC a sistemas CAD/CAPP.

Também na programação NC assistida por computador, através de processadores tipo-APT, este conceito é válido, apesar da maior amplitude de recursos e/ou confortos oferecidos por estes sistemas.

A programação via sistemas gráficos permite que se trabalhe com informações gráficas, ao invés de dados estritamente alfa-numéricos. Entretanto, mesmo em sistemas baseados neste princípio, o conceito citado anteriormente permanece válido para grande número de operações e se traduz na natureza do diálogo orientado pelo sistema para geração do programa.

Um maior nível de automatização da programação NC, bem como sua efetiva integração ao processo produtivo como um todo, passa por uma reformulação deste contexto. Deve estar prevista a troca de informações entre o CAD e a programação NC. Porém, ao invés da discretização e codificação de movimentos lógicos, a

geração dos programas NC deve estar calcada na busca e interpretação de formas existentes no modelo geométrico do componente a ser planejado e programado, armazenado na base de dados do CAD. A partir da localização e interpretação dessas formas e baseado em estratégias pré-definidas, o sistema de programação deve possuir recursos para prover soluções de movimentação de ferramentas para geração do programa.

Em um sistema de programação completo e abrangente devem estar previstas, dentro desta metodologia, soluções tanto para formas planas à base de contornos, quanto para formas à base de "patterns" (ex. cavidades, rasgos, disposições de furos etc.). Não obstante, cabe salientar que esta troca de informações CAD/NC deve se dar a partir de um modelo que seja construído e estruturado de forma coerente com esta metodologia.

Outro lado da questão envolve análise dos aspectos tecnológicos inerentes à programação NC.

Na grande maioria dos sistemas que formalizam os métodos de programação fora do ambiente de produção (no escritório), os elementos tecnológicos envolvidos na elaboração de um programa NC são tratados como informações numéricas, oriundas de tabelas de velocidades e avanços, e incorporadas à programação pelo programador. Este determina todo o seqüenciamento do processo, planejando trocas de ferramentas, calculando valores de parâmetros de corte etc. Isto é verdade também no caso de processadores tipo-APT e na grande maioria dos sistemas de programação assistida.

O desenvolvimento de ferramentas de CAPP acompanha a tendência para a criação de sistemas mais informatizados para tomada de decisões tecnológicas. Estas decisões envolvem escolha de meios de produção adequados (máquinas, ferramentas, parâmetros

etc.), levando-se em consideração aspectos variados do componente a ser planejado e programado, como esbeltez, tolerâncias, acabamentos superficiais etc. Paralelamente, na área de usinagem, têm-se conduzido pesquisas que levam a procedimentos de otimização de parâmetros de corte, bancos de dados de usinagem e sistemas de seleção de ferramentas. O caráter acadêmico de muitas dessas pesquisas faz com que geralmente se busque soluções ideais neste processo de tomada de decisões. Em determinadas circunstâncias, o compromisso com a otimização deve ser preterido em função de soluções disponíveis no momento. Exemplo clássico é a seleção de ferramentas de corte. Dependendo do critério de produção adotado, existirá uma ferramenta ideal para cada operação. Entretanto, o atendimento de todas as situações faria com que a empresa tivesse que multiplicar seus custos de estoque de ferramentas. Mais racional seria a busca e utilização, tanto quanto possível, de ferramentas disponíveis em seus bancos de dados e valores de parâmetros de corte que, além de condizentes com as ferramentas em questão, se aproximem o máximo possível dos valores ideais.

Este contexto mostra a importância e necessidade de se desenvolver modelos de programação que tratem as soluções como um todo, levando-se em consideração, de forma sistemática, tanto elementos geométricos quanto tecnológicos.

4.2 ESTRUTURA E CARACTERÍSTICAS DO MODELO PROPOSTO

Como aplicação prática deste estudo, pretende-se desenvolver um modelo de programação, na forma de um sistema computacional, que seja regido por dois conceitos essenciais:

- a) o sistema de programação se valerá da interpretação de formas existentes no modelo geométrico gerado por sistemas CAD e determinará soluções de movimentação de ferramentas que, quando codificadas, formarão o programa NC;
- b) o sistema de programação se incumbirá, de posse dos dados tecnológicos necessários à montagem do programa NC, de prover soluções de seqüenciamento do processo que, em conjunto com estratégias de movimentação de ferramentas, se traduzirão em programas consistentes e baseados em condições disponíveis.

Além desses conceitos essenciais, a solução proposta possui as seguintes características básicas:

- os dados geométricos necessários ao programa NC são fornecidos por um sistema CAD comercial, a partir da interpretação do arquivo gráfico por este gerado;
- os dados tecnológicos que complementam a programação NC são fornecidos por um sistema CAPP protótipo, desenvolvido na própria UFSC;
- o modelo proposto oferece, como saída, a nível de exemplo de aplicação, programas NC baseados em "código G", de acordo com as normas DIN 66025 e ISO 6983-88.

Este conjunto de características visa dar maior consistência, tanto geométrica, quanto tecnológica ao programa NC. Para a fabricação, a utilização de um sistema CAD enriquecido de entrada de dados orientados à programação, que consiste no tratamento de formas completas, aliado à metodologia proposta, dispensa tarefas de reinterpretação do desenho e determinação

manual da trajetória das ferramentas, atividades que predisõem ao aparecimento de erros.

Por outro lado, no que diz respeito à determinação dos dados tecnológicos indispensáveis à programação, todo o seqüenciamento do processo, assim como informações sobre tipos e códigos das ferramentas e valores dos parâmetros de corte são inseridos automaticamente no programa NC. Estas informações compõem a saída básica do sistema CAPP e são extraídas do arquivo de dados tecnológicos que serve como interface CAPP/CAM.

Com relação aos dados geométricos, um particular aspecto foi levado em consideração. O constante desenvolvimento, tanto de hardware quanto de software, pode criar a necessidade da troca ou atualização do CAD utilizado por uma empresa. Considerando-se esta possibilidade, o modelo proposto, seguindo a linha proposta em [54], faz a extração dos dados geométricos, para a criação do programa NC, a partir de interpretação de um arquivo gráfico que siga um determinado formato padrão. Neste caso, o formato padrão utilizado é o IGES, principalmente por ser o mais difundido mundialmente. Esta metodologia garante flexibilidade ao sistema, pois a utilização de um ou outro sistema CAD não afetará significativamente o funcionamento do mesmo. A figura 4.2 ilustra a flexibilidade, a partir da utilização do arquivo de formato padrão.

Com o intuito de assegurar este grau de flexibilidade também no outro extremo do sistema, ou seja, para que o programa NC não fique dedicado a um determinado comando, o processador NC possui arquitetura tal que permita a redefinição das declarações que compõem o programa. Assim, apesar do código NC ser direcionado aos comandos "Sinumerik 3M" e "Sinumerik 7M", disponíveis na UFSC,

o formato de suas palavras pode ser reconfigurado para atender às peculiaridades de outros CNC existentes (figura 4.3), inclusive para o caso de utilização de linguagens universais como o BCL.

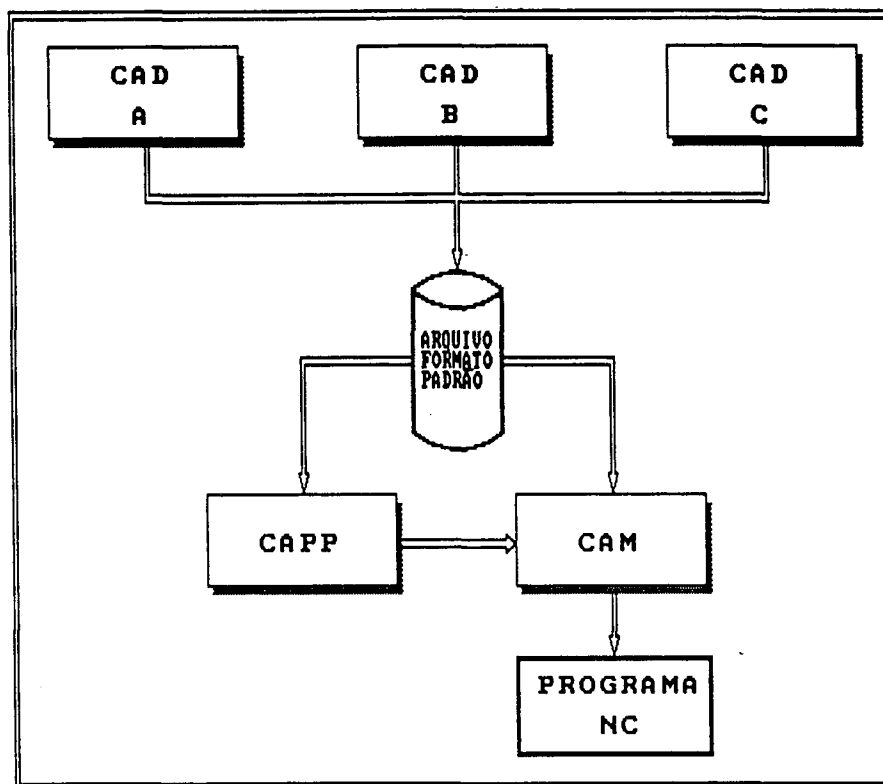


Figura 4.2- Utilização de arquivo gráfico de formato padrão.

O modelo será aplicado e testado sobre o processo de furação, ou seja, a formas à base de "patterns" de furos, pelos seguintes motivos básicos:

- as operações de furação representam significativo volume de trabalho nas indústrias metal-mecânicas;
- dentre os processos de usinagem por remoção de cavaco, o processo de furação, por ser de geometria definida, aparentemente apresenta maior lógica em seu seqüenciamento de tarefas;

- foram desenvolvidos, neste departamento, estudos sobre a tecnologia do processo de furação [130, 131, 132];
- este modelo dá continuidade ao ciclo CAD/CAPP/CAM, aplicado ao processo de furação, iniciado com o desenvolvimento do sistema CAPP "PLANPRO-I" [133] e de um trabalho que apresenta uma metodologia para integração CAD/CAPP [54].

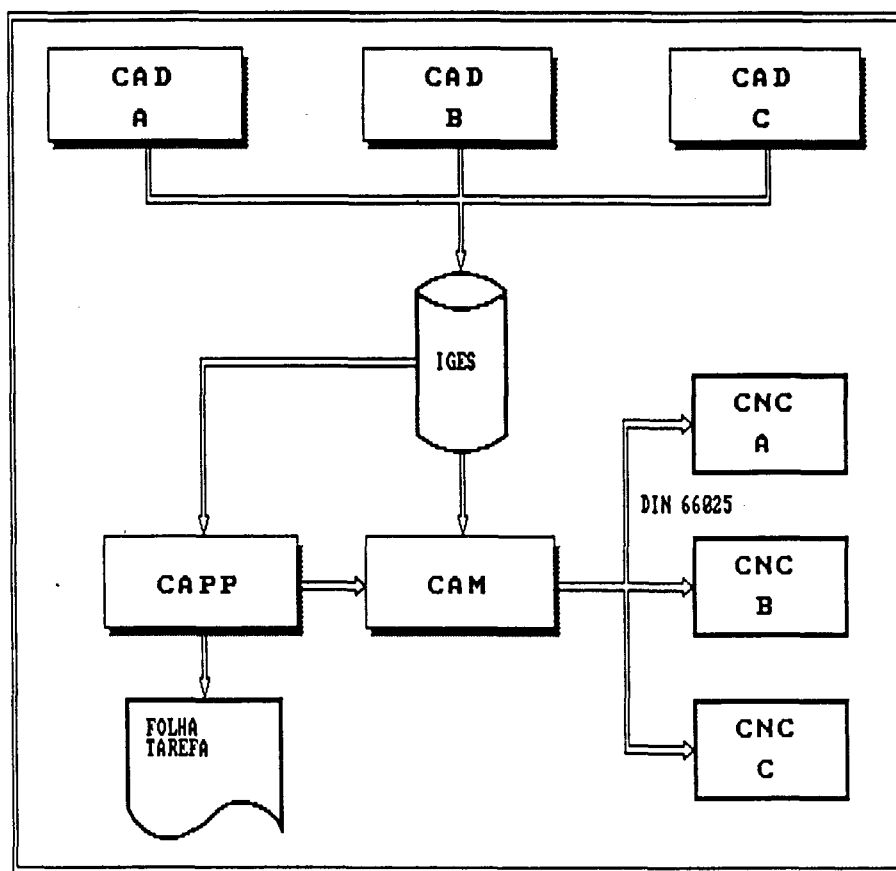


Figura 4.3- Filosofia da solução proposta.

4.3 ESTRATÉGIA DE SOLUÇÃO

Para o cumprimento, do ponto de vista operacional, dos objetivos até aqui apresentados, elaborou-se uma estratégia idealizada a partir de três premissas básicas:

- a) aplicação do conceito de projeto orientado à fabricação (em ambiente CAD);
- b) a montagem de arquivos intermediários, de acesso randômico, para armazenamento tanto dos dados geométricos quanto tecnológicos necessários ao programa NC;
- c) construção de um processador NC baseado no conceito de "one-step processor" (processador de uma etapa).

4.3.1 Projeto Orientado à Fabricação

Normalmente, o programador, para realização de sua tarefa, associa entidades geométricas visualizadas no desenho de engenharia a características físicas das peças, produzidas tanto por usinagem ou outro processo de fabricação. O programador, então, interpreta círculos como furos, arcos e linhas como perfis etc. e codifica, em linguagem apropriada, os movimentos discretos executados por cada ferramenta.

No caso da programação NC remota que tem o CAD como elemento de entrada de dados, é necessário que estas características geométricas sejam representadas e organizadas de forma consistente e que estejam presentes e disponíveis à extração, a partir da análise do modelo geométrico. Para isso, é preciso dotá-las de significado físico para que possam ser associadas a operações de usinagem e, por conseguinte, a ciclos que definirão a(s) trajetória(s) da(s) ferramenta(s) e a codificação do programa. Isto permitiria que rotinas computacionais executassem a interpretação do arquivo gráfico, facilitando a geração automática do programa NC. O sistema passaria a interpretar o modelo geométrico da peça, documentado

por seu desenho de engenharia, como o programador o faria. Trata-se da aplicação do conceito de macros e "features" (vide capítulo três) viabilizando o desenvolvimento, em ambiente CAD, de um projeto harmônico com a fabricação, no caso a programação NC.

Muitos dos sistemas CAD atualmente disponíveis no mercado permitem a implementação desses conceitos a partir da possibilidade de criação, por parte do usuário, de bibliotecas de novos comandos em complemento e apoio aos comandos disponíveis originalmente. Estas novas funções, com desenvolvimento calcado em técnicas de programação paramétrica com auxílio de linguagens apropriadas a este tipo de aplicação (ex. AutoLISP), permitem que o usuário, de forma flexível, "customize" o CAD, para atendimento de suas necessidades específicas.

O conceito de programação paramétrica permite a minimização do esforço envolvido no processo de criação dos desenhos no CAD, uma vez que, a partir da atribuição de valores a determinados parâmetros existentes nos programas, a representação gráfica da grade de furos pode ser automaticamente construída.

Analogamente à metodologia desenvolvida em [54], criou-se uma extensão da estrutura original do sistema CAD, denominada "AMBIENTE CAD-NC", que engloba o conjunto de programas paramétricos criados com intuito de integrar informações de projeto e programação NC (figura 4.4).

Além do objetivo de trazer parte das definições envolvidas na programação para o estágio de projeto, o "ambiente CAD-NC" serve de ferramenta para agilização da atividade de desenho das peças. Isto se dá a partir do aumento das potencialidades do CAD, causada pela introdução das novas funções. O trabalho de projeto fica mais veloz, vantagem principal da

programação paramétrica, pois diminui-se drasticamente o número de interações com o usuário, substituindo-as por simples entrada de alguns dados. Além disso, o trabalho desenvolvido no "ambiente CAD-NC" permite uma organização do arquivo gráfico, de tal forma que facilite sua interpretação, para geração do programa NC.

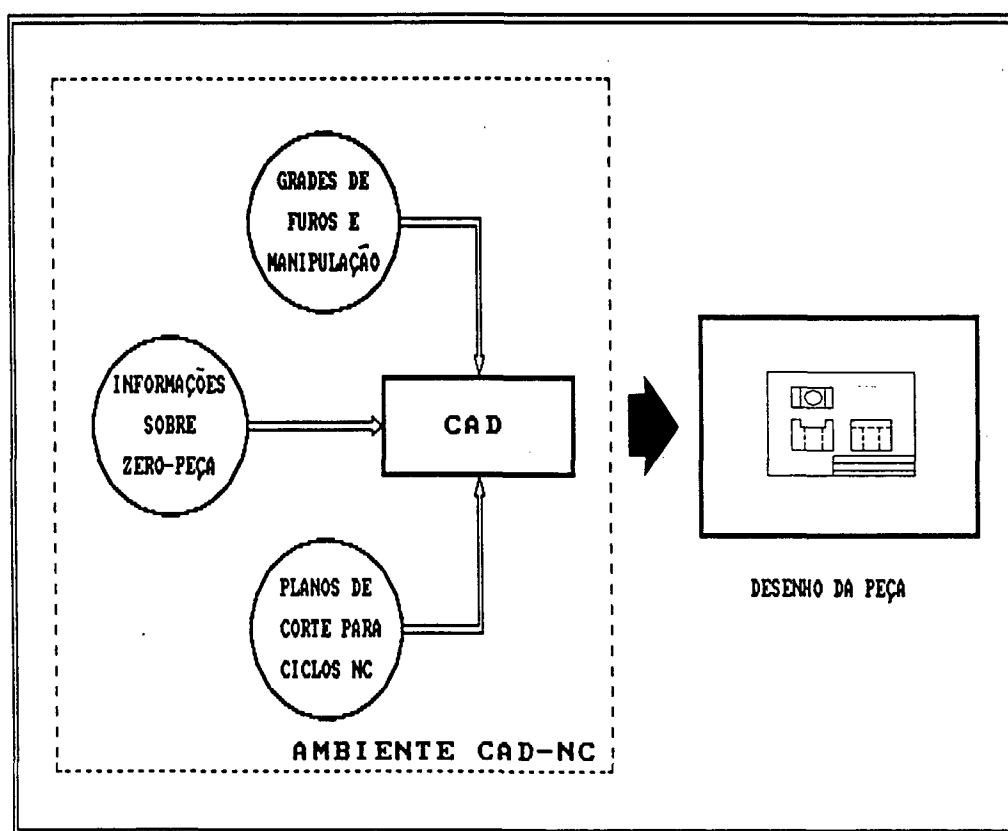


Figura 4.4- O "ambiente CAD-NC".

4.3.2 Os Arquivos Intermediários

Faz parte da estratégia adotada, na concepção do modelo proposto, a montagem e construção de dois arquivos intermediários.

O primeiro é construído a partir da interpretação do arquivo gráfico no formato padrão IGES, gerado pelo CAD, armazenando todas e apenas as informações concernentes à furação.

O arquivo IGES tem o inconveniente, por ser do tipo texto de 80 colunas, de ser muito extenso e a construção deste arquivo intermediário agiliza o levantamento das informações acerca das grades de furos. Este arquivo intermediário, de acesso randômico, contém, para cada grade de furos, todos os dados para sua parametrização, assim como os códigos e geometria dos furos que as compõem e informações sobre os planos de corte para determinação do(s) percurso(s) da(s) ferramenta(s). A figura 4.5 ilustra parte de sua estrutura.

	número de furos	ponto inicial	ponto final	âng. α / horizontal	dist. entre furos	raio do círculo	âng. pto inicial	...	código dos furos	diâmetro dos furos	plano de partida	plano de superfície	profundidade final
Grade 1													
Grade 2													
Grade 3													
...													
Grade n													

Figura 4.5- Estrutura do arquivo intermediário de dados geométricos.

O uso desta metodologia tem como vantagem, por tratar com dados relacionados apenas à furação, a possibilidade de alimentar maior variedade de sistemas CAM, desde que sejam

conhecidos seus dados de entrada. A diferença em se trabalhar com arquivos gráficos de formatos distintos (IGES, DXF, VDAFS etc) torna-se pequena, bastando que se projete um programa interpretador para cada tipo de arquivo [134].

O segundo arquivo intermediário utilizado é construído pelo planejamento do processo e compõem-se dos dados tecnológicos pertinentes à furação, advindos do CAPP. O arquivo proposto, também de acesso randômico, armazena informações, tais como (figura 4.6):

- código dos furos processados;
- informações sobre as ferramentas utilizadas no processo;
- valores dos parâmetros de corte.

dados	Código das Ferramentas				Diâmetro das Ferramentas				Parâmetros de Corte															
									1				2							m			
	1	2	...	m	1	2	...	m	f	v	k	Ø	f	v	k	Ø					f	v	k	Ø
Furo 1																								
Furo 2																								
Furo 3																								
.																								
.																								
.																								
Furo n																								

Figura 4.6- Estrutura do arquivo intermediário de dados tecnológicos.

O parâmetro base para toda a integração é o código dado a cada furo processado pelo CAPP. Este código deve ser uniformizado também pelo CAD e pelo CAM, facilitando a

transferência de dados entre os sistemas, através de seus arquivos de saída.

4.3.3 O Processador de Uma Etapa

Outro ponto estratégico do modelo proposto é a construção do processador NC baseado no conceito de "processador de uma etapa" ("one-step processor") [135]. O método consiste na construção de um único processador entre a geometria da peça/tecnologia do processo de furação e a linguagem de programação NC.

Como foi visto, grande parte dos sistemas de programação que fazem uso de sistemas CAD como elemento de entrada de dados geométricos, utiliza um método para criação dos códigos NC que consiste de quatro etapas (figura 4.7). Trata-se de um método dispendioso e que pode consumir muito tempo de processamento.

O método proposto substitui os passos 2, 3 e 4 do processo tradicional, por um único passo, como ilustra a figura 4.8. A geração do programa NC se dá no terceiro nível de linguagem NC, visto no capítulo dois.

Observa-se a possibilidade da obtenção de significativos ganhos de produtividade na atividade de geração dos programas NC, devido à eliminação da necessidade de determinação manual (interativa) do percurso da ferramenta, criação do "CLFile" e pós-processamento.

No caso de modelos de programação voltados a contornos, cabe salientar que, na maioria dos casos, o processo de geração dos programas não pode ser totalmente automatizado [136]. O sistema orienta o diálogo para a montagem dos programas. A proli-

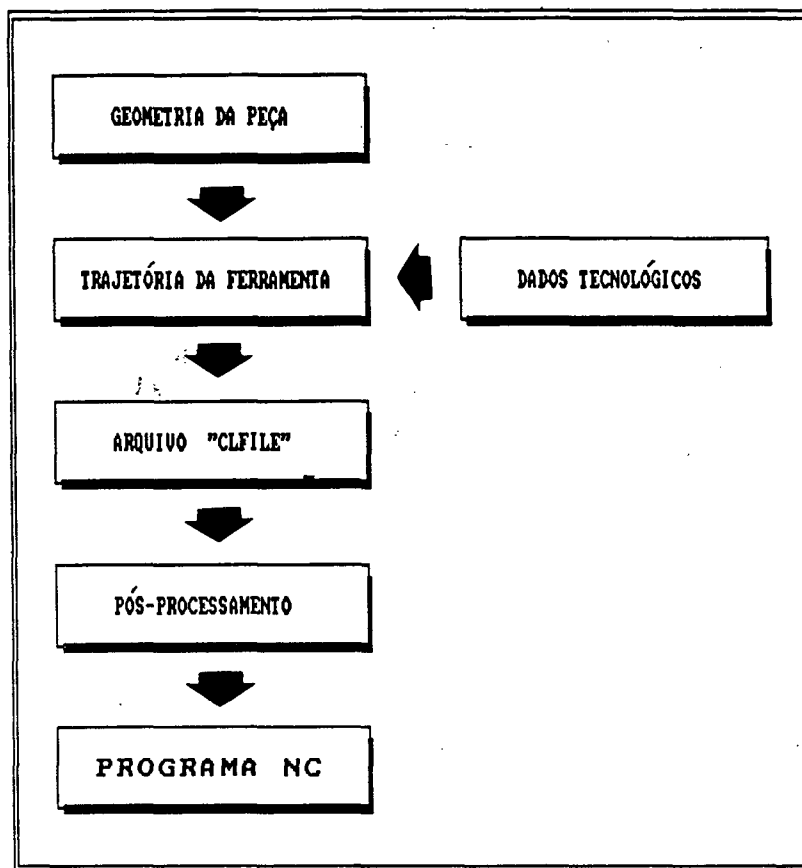


Figura 4.7- Processo tradicional de geração de programas NC.

xidade deste diálogo pode variar de acordo com a complexidade geométrica da peça, com os recursos do comando CNC utilizado etc. No caso do modelo proposto neste trabalho, este diálogo é substancialmente resumido, tendo em vista que se dispõe de todos os dados geométricos que definem a peça a ser programada, da disposição dos planos que orientam a trajetória de cada ferramenta e da discretização do processo de fabricação da peça com respeito à furação.

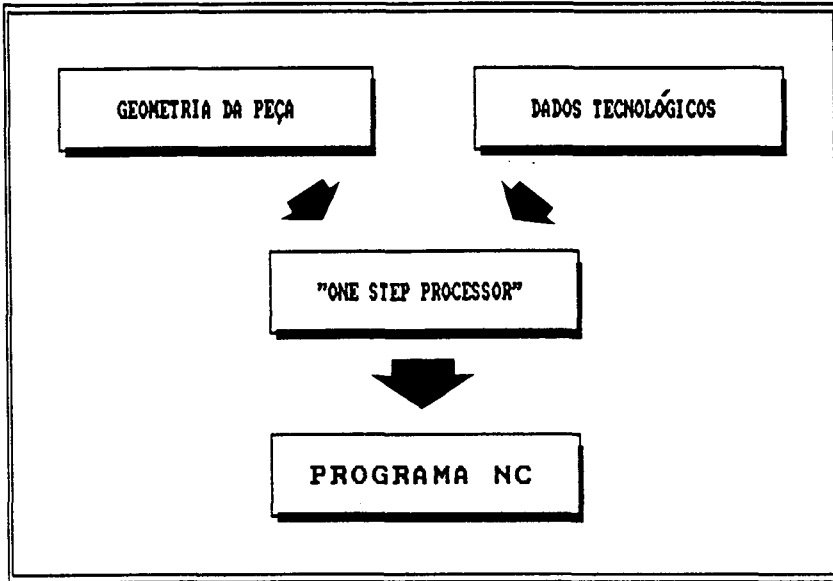


Figura 4.8- Processador de uma etapa.

CAPÍTULO V

DETALHAMENTO DO MODELO PROPOSTO

Uma vez conhecidas as premissas básicas que norteiam a concepção do modelo proposto, parte-se agora para uma abordagem mais profunda do mesmo. Inicialmente detalha-se o "ambiente CAD-NC" para furação. A seguir, são descritos os algoritmos empregados na elaboração dos módulos que compõem o sistema de programação, desde a interpretação do arquivo gráfico de saída do CAD, até a geração do programa NC.

5.1 O AMBIENTE CAD-NC PARA FURAÇÃO

Como foi descrito no capítulo anterior, este ambiente, criado no âmbito de um editor gráfico comercial, oferece as condições necessárias à integração CAD/NC. É composto basicamente por programas paramétricos que possuem dois objetivos básicos:

- facilitar a criação dos desenhos das peças;
- possibilitar a gravação, de forma organizada, dos dados relativos às grades de furos em arquivo gráfico de formato padrão.

Esta metodologia facilita a extração das características geométricas da peça, necessárias à programação, diretamente do arquivo IGES.

Os programas paramétricos que integram o "ambiente CAD-NC" para furação se aplicam a:

- determinação do zero-peça (ZP) do componente a ser progra-

mado;

- determinação da localização dos planos de corte para orientação da trajetória das ferramentas;
- entrada dos dados que parametrizam cada grade de furos;
- definição geométrica dos furos que compõem uma determinada grade;
- geração automática do desenho de cada grade de furos, com possibilidade de aplicação de funções de manipulação;
- gravação, sob a forma de blocos, das informações acima citadas no arquivo gráfico utilizado.

5.1.1 Determinação do Zero-Peça

O zero-peça (ZP) é determinado ainda no estágio de projeto, em qualquer momento do trabalho no "ambiente CAD-NC". Tem suas coordenadas (x,y,z) fornecidas pelo usuário, através da execução de um programa paramétrico.

A localização do ZP é uma informação extremamente importante, pois dela depende o cálculo das posições exatas dos furos, dados que alimentarão o processador NC. No desenho da peça no CAD, a localização dos furos se dá em relação à origem do sistema de coordenadas de tela. A determinação do ZP do componente a ser programado possibilita o mapeamento da posição de cada furo para um sistema de coordenadas reais ou da peça, passo necessário à elaboração dos programas NC.

O mesmo programa paramétrico que possibilita a escolha do ZP, o faz na determinação do Plano de Retração Global (PRG).

A função do PRG é prover uma posição na qual as ferramentas possam se movimentar sem perigo de colisões. Sua localização é definida em coordenadas absolutas com relação ao ZP.

Assim, os dados iniciais para execução deste programa paramétrico constituem-se das coordenadas (x,y,z) do Zero-Peça (em relação ao sistema de coordenadas de tela) e localização do Plano de Retração Global (em z).

Depois de efetuada a entrada dos dados, estes são gravados no arquivo gráfico do sistema CAD na forma de um bloco de informações. A figura 5.1 ilustra a localização do ZP e do PRG para um dado componente.

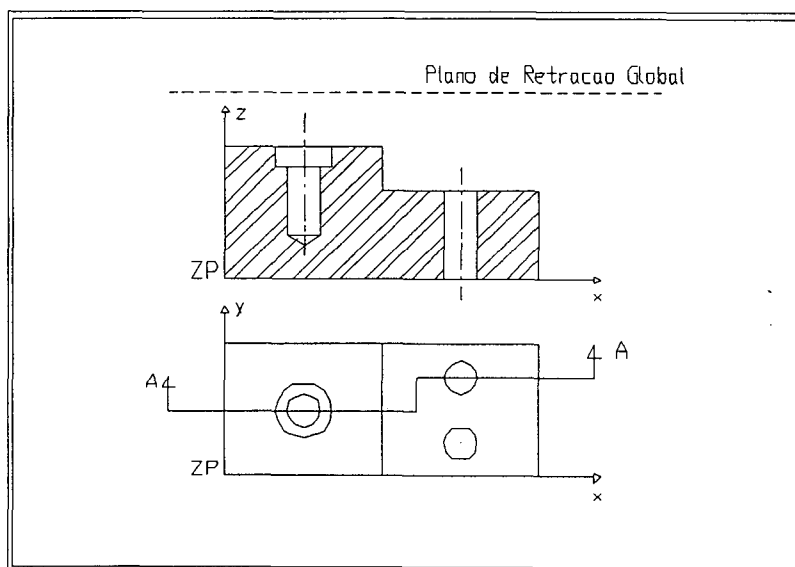


Figura 5.1- Exemplo de localização do Zero-Peça (ZP) e do Plano de Retração Global (PRG).

5.1.2 Parametrização Geométrica das Grades de Furos

A forma utilizada para se representar graficamente os furos contidos em uma peça deve se adequar ao tipo de atividade a ser realizada a partir daquela representação. O uso simultâneo de

diferentes métodos de representação é prática comum e muitíssimas vezes necessária, para que o desenho de engenharia transporte maior quantidade possível de informações sobre os furos.

A representação dos furos em corte é mais comumente utilizada em pesquisas relacionadas à integração CAD/CAPP, pois permite a precisa identificação do tipo de furo a ser processado. Fica facilitada a detecção tanto de suas características geométricas (diâmetros, profundidades, rasgos, roscas etc), quanto de características tecnológicas (tolerâncias dimensionais, de forma e posição e níveis de acabamento superficial), dados imprescindíveis ao planejamento do processo [54].

Para a programação NC, se faz necessário, além dos dados acima citados, o domínio de informações relativas à geometria entre furos, em um determinado plano. Para determinação do percurso de cada ferramenta, deve-se conhecer a localização exata de cada furo existente na peça. No caso do modelo proposto, voltado a aplicações em 2 1/2D, o sistema CAM deve ser informado sobre o posicionamento de cada furo através das coordenadas (x,y) de seu centro. Este contexto induziu a utilização da representação gráfica dos furos em vista superior.

Comumente em peças prismáticas que sofrem operações de furação, os furos possuem distribuição tal que formam disposições geométricas matematicamente parametrizáveis. Seguindo esta linha, foram criados programas paramétricos que automatizam o desenho de determinados grupos de furos. A seguir são apresentados os tipos de disposição geométrica entre furos criados e os dados necessários à sua parametrização.

a) Furos em Posição Aleatória

Este tipo de "parametrização" se aplica a disposições entre furos que não guardam uma geometria aparentemente definida ou no caso de peças que possuam furos individuais (figura 5.2). Os dados necessários à parametrização de furos em posição aleatória são:

- número de furos (n);
- coordenadas (x, y) de cada furo.

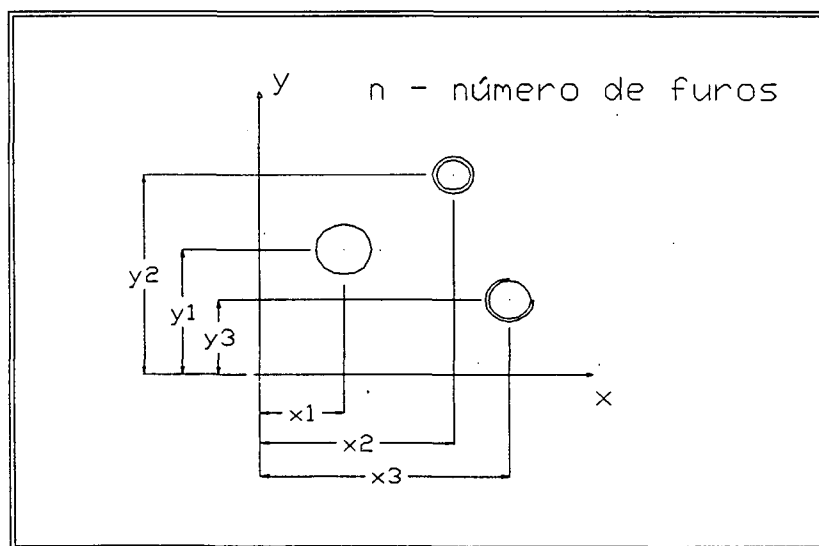


Figura 5.2- Furos em posição aleatória.

b) Furos em Linha

Uma disposição linear de furos pode ser parametrizada de duas formas básicas (figura 5.3). Uma primeira parametrização pode ser obtida a partir dos seguintes dados:

- número de furos da grade (n);
- coordenadas (x, y) do ponto inicial da linha (sp_x, sp_y);
- coordenadas (x, y) do ponto final da linha (ep_x, ep_y).

Em contrapartida, uma segunda parametrização pode ser obtida, considerando-se os seguintes dados iniciais:

- número de furos da grade (n);
- coordenadas (x,y) do ponto inicial da linha (sp_x, sp_y);
- ângulo de inclinação da linha com a horizontal (ALFA);
- afastamento entre furos adjacentes da linha (AFAST).

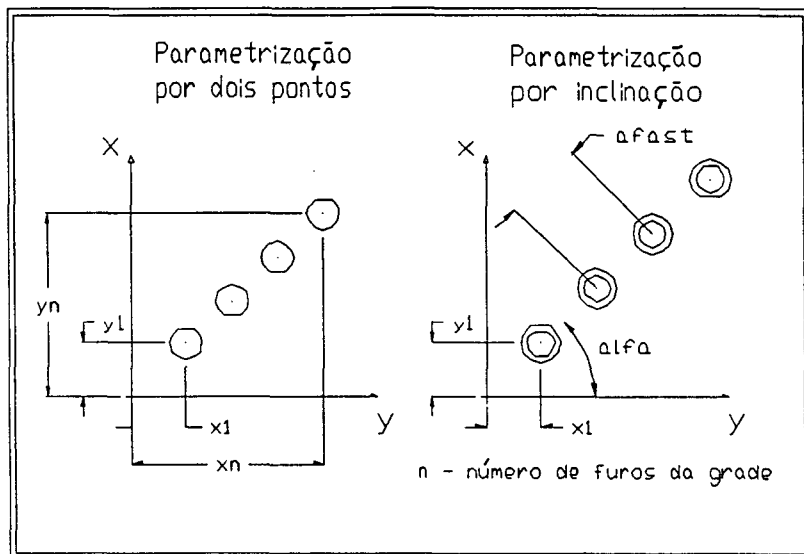


Figura 5.3- Parametrização de linha de furos.

c) Furos em Círculo

Trata-se de uma das disposições geométricas mais comuns em peças que possuem furos. Uma disposição de furos em círculo pode ser parametrizada da seguinte forma (figura 5.4):

- número de furos da grade (n);
- coordenadas (x,y) do ponto central do círculo (cp_x, cp_y);
- raio do círculo (RAIO);
- ângulo de inclinação do ponto inicial do círculo com a horizontal (ALFA).

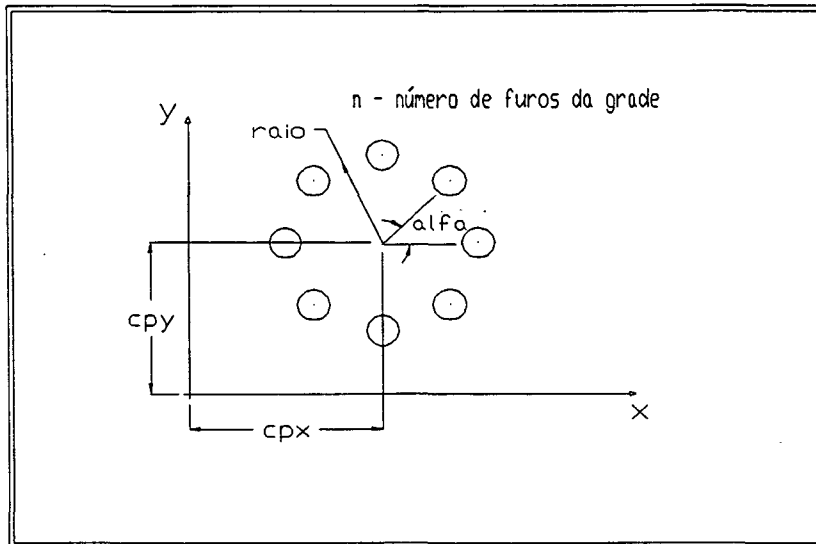


Figura 5.4- Parametrização de círculo de furos.

d) Furos em Arco

Uma grade de furos em forma de arco pode gerar um grupo de furos em círculo, dependendo dos valores dos parâmetros que a definem. Este tipo de geometria pode ser parametrizada de duas formas distintas (figura 5.5). Os dados necessários à primeira parametrização são:

- número de furos da grade (n);
- coordenadas (x, y) do ponto central do arco (cp_x, cp_y);
- raio do arco (RAIO);
- ângulo de inclinação do ponto inicial do arco com a horizontal (ALFA);
- ângulo de inclinação do ponto final do arco com a horizontal (BETA).

Uma segunda parametrização de um arco de furos pode ser obtida, substituindo-se o último dado da primeira parametrização

pele o ângulo entre furos adjacentes, com vértice no ponto central da grade (figura 5.5).

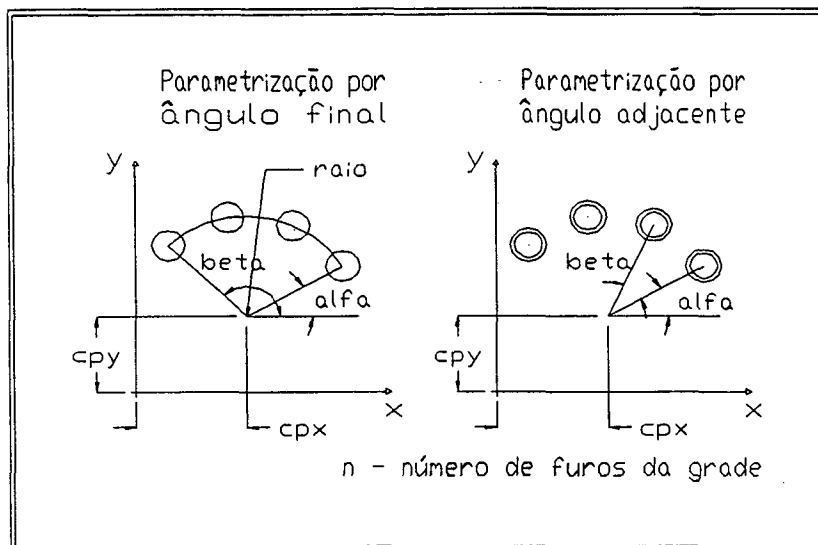


Figura 5.5- Parametrização de arco de furos.

e) Grade Retangular de Furos

Uma grade retangular de furos consiste basicamente de um desdobramento de uma disposição linear (item (b)), gerando uma matriz de pontos, onde linhas e colunas são definidas por diferentes linhas de furos. Pode ser parametrizada de duas formas (figura 5.6), sendo a primeira definida pelos seguintes dados iniciais:

- número de furos da primeira disposição linear (n);
- número de furos da segunda disposição linear (m);
- coordenadas (x,y) do ponto inicial da primeira disposição linear de furos (sp_x, sp_y);
- coordenadas (x,y) do ponto final da primeira disposição linear de furos (ep_x, ep_y);

- afastamento entre furos adjacentes na segunda disposição linear de furos (AFAST).

Uma segunda parametrização para grades retangulares de furos advém dos seguintes dados:

- número de furos da primeira disposição linear (n);
- número de furos da segunda disposição linear (m);
- coordenadas (x,y) do ponto inicial da primeira disposição de furos (sp_x, sp_y);
- ângulo de inclinação da primeira disposição linear de furos em relação a horizontal (ALFA);
- afastamento entre furos adjacentes na primeira disposição linear (AFAST1);
- afastamento entre furos adjacentes na segunda disposição (AFAST2);

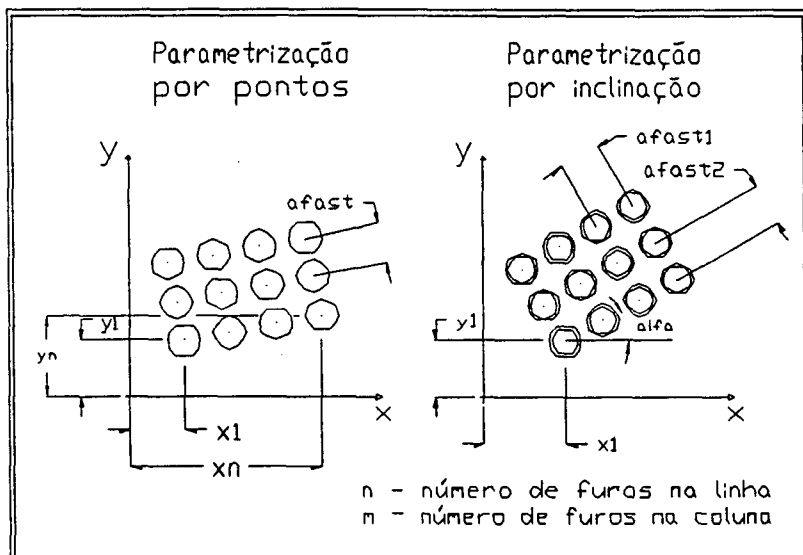


Figura 5.6- Parametrização de grade retangular de furos.

f) Grade Losangular de Furos

Trata-se de uma variação da grade retangular de furos, onde a segunda disposição linear não precisa se posicionar a 90° com relação a primeira. Os dados para sua parametrização são (figura 5.7):

- número de furos da primeira disposição linear (n);
- número de furos da segunda disposição linear (m);
- coordenadas (x,y) do ponto inicial da primeira disposição linear de furos (x_1, Y_1) ;
- coordenadas (x,y) do ponto final da primeira disposição linear de furos (x_n, Y_n) ;
- coordenadas (x,y) do ponto final da segunda disposição linear de furos (x_m, Y_m) ;

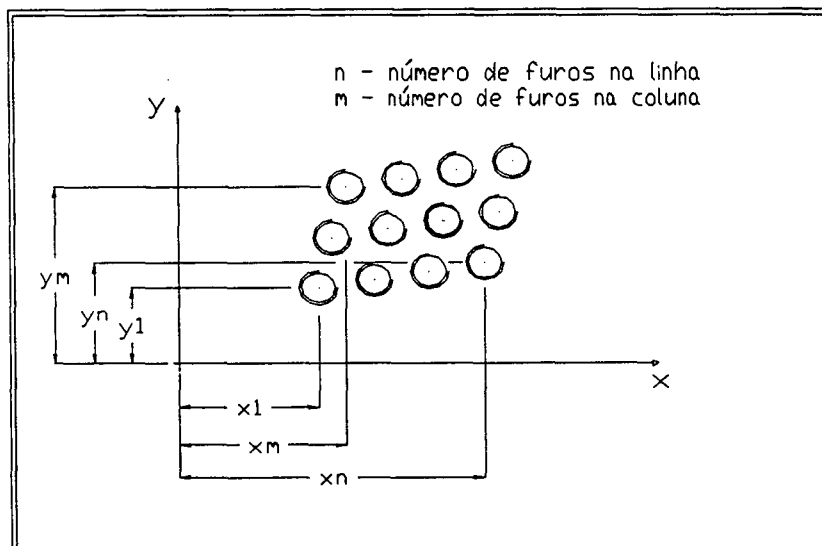


Figura 5.7- Parametrização de grade losangular de furos.

g) Grade Circular de Furos

Esta geometria pode ser considerada como uma matriz de pontos, onde as linhas são formadas por uma disposição linear de furos e as "colunas" por uma disposição em forma de arco. Os dados necessários à parametrização são (figura 5.8):

- número de furos da disposição linear (m);
- coordenadas (x,y) do ponto inicial da disposição linear de furos (sp_x, sp_y);
- coordenadas (x,y) do ponto final da disposição linear de furos (ep_x, ep_y);
- número de furos no arco (n);
- coordenadas (x,y) do ponto central do arco de furos (cp_x, cp_y);
- ângulo de inclinação do ponto inicial do arco de furos com a horizontal (ALFA);
- ângulo de inclinação do ponto final do arco com a horizontal (BETA);
- raio do arco (RAIO).

h) Contornos de Furos

Completando os tipos de disposições geométricas entre furos disponíveis no "ambiente CAD-NC", são propostos quatro diferentes contornos de furos:

- contorno retangular (duas parametrizações);
- contorno losangular;
- contorno circular;

Cada contorno de furos tem os dados necessários a sua parametrização idênticos à sua referida grade. As figuras 5.9, 5.10, e 5.11 ilustram os dados necessários à parametrização dos diferentes contornos de furos.

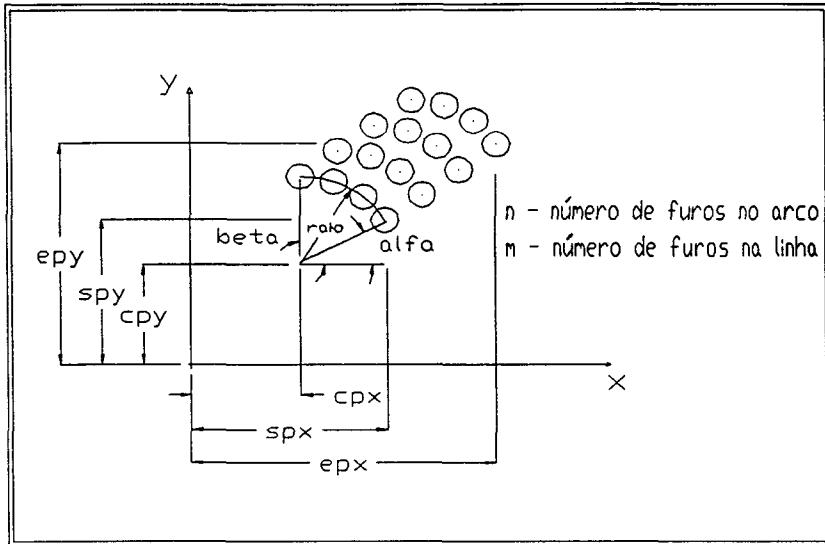


Figura 5.8- Parametrização de grade circular de furos.

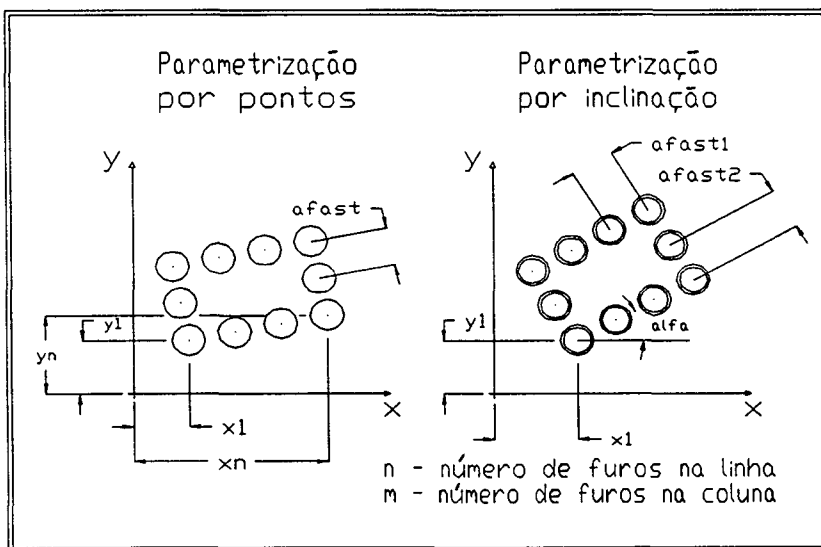


Figura 5.9- Parametrização de contorno retangular de furos.

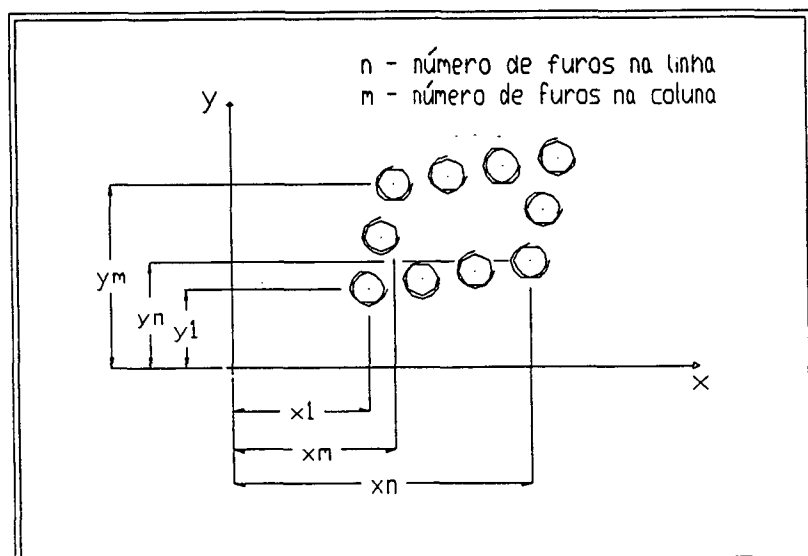


Figura 5.10- Parametrização de contorno losangular de furos.

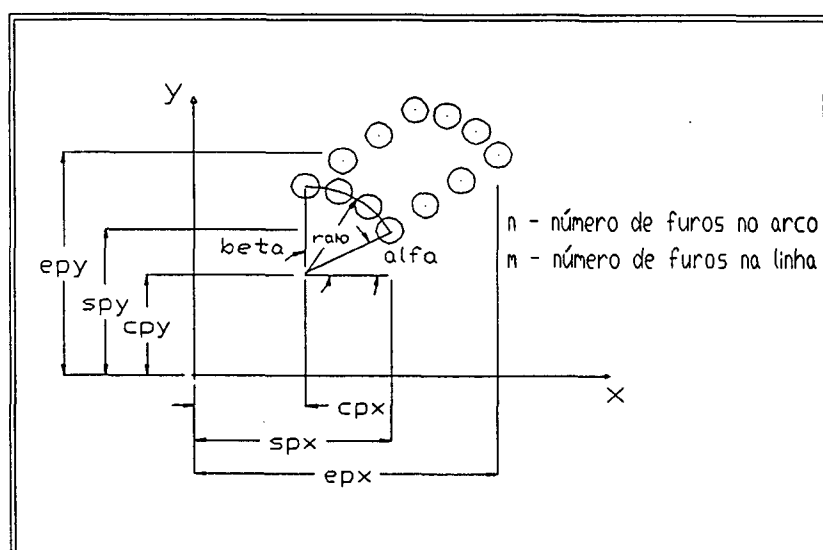


Figura 5.11- Parametrização de contorno circular de furos.

5.1.3 Planos de Corte para Determinação da Trajetória das Ferramentas

Em conjunto com a definição dos dados que parametrizam as grades de furos, são fornecidos os valores que definem a localização dos planos de corte. Estes valores são definidos em coordenadas absolutas, em relação ao ZP do componente a ser programado. Para cada grade de furos, são definidos os seguintes planos (figura 5.12):

- plano de partida;
- plano de superfície do(s) furo(s).

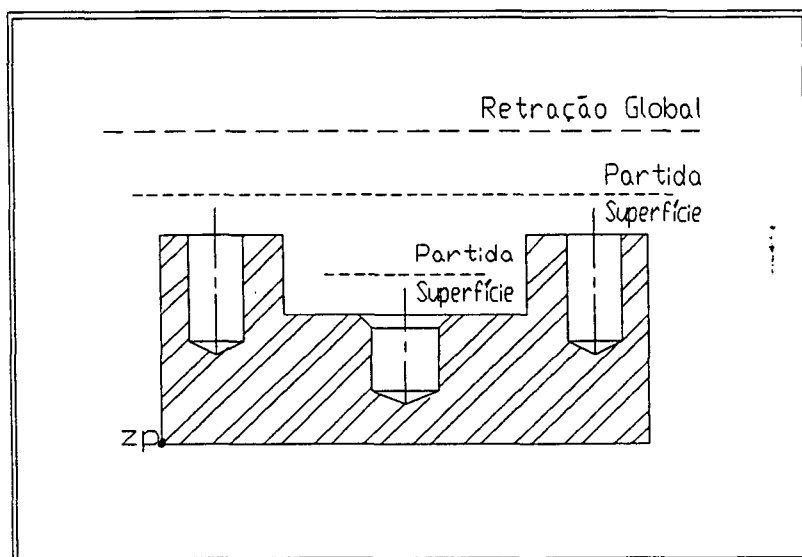


Figura 5.12- Definição dos planos de corte locais.

Estes planos, juntamente com valores absolutos das profundidades dos furos, orientam a determinação do percurso das ferramentas, pois fornecem os dados necessários à montagem dos ciclos de furação (G81, G83 etc). A localização desses planos pode

variar de grade para grade, com exceção às grades de furos geradas a partir de funções de manipulação, que conservam os valores dos planos, com relação à grade de referência.

5.1.4 Definição Geométrica dos Furos

Seguindo a filosofia adotada em [54], o "ambiente CAD-NC" prevê o desenho automático, em vista superior, de furos de seis tipos básicos a saber (figura 5.13):

- cilíndrico;
- escariado;
- escalonado;
- cônico;
- rosca;
- qualquer.

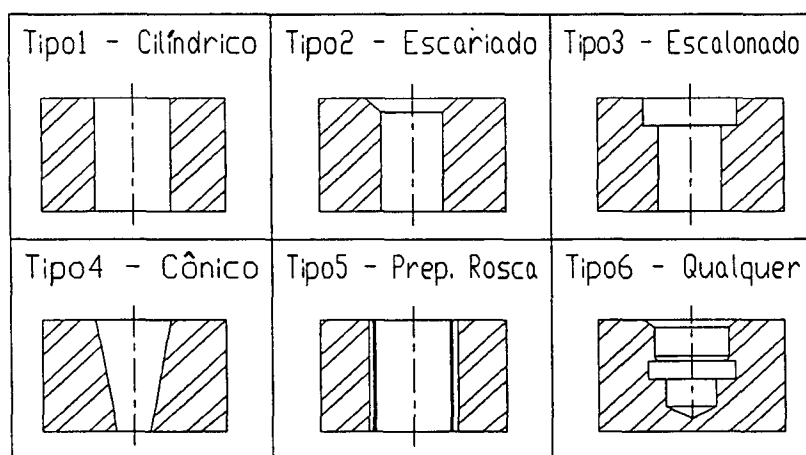


Figura 5.13- Tipos de furos abordados.

O furo do tipo "qualquer" tem por característica principal permitir ao usuário sua livre construção, através da união de quatro elementos básicos (figura 5.14):

- elemento cilíndrico;
- elemento cônico;
- elemento esférico;
- elemento alojamento.

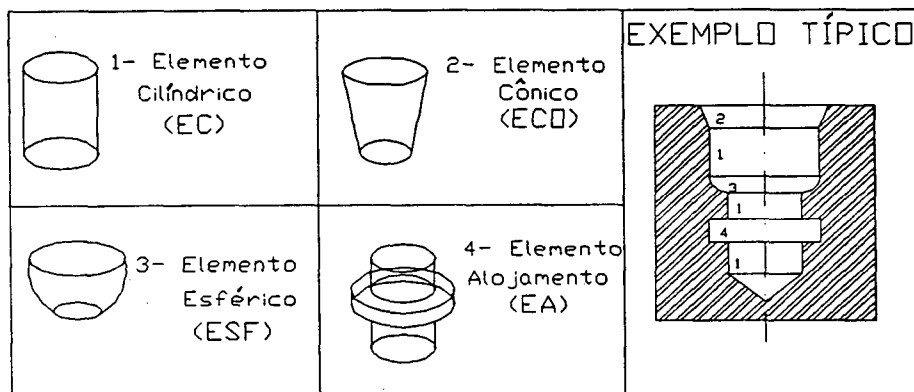


Figura 5.14- Elementos geométricos para composição do furo do tipo "qualquer".

Desenhados em vista superior, os furos têm representação gráfica específica de acordo com o tipo. A figura 5.15 ilustra exemplos de representação gráfica para os seis tipos de furos. Os dados geométricos necessários à geração de cada representação são idênticos aos adotados em [54].

5.1.5 Geração Automática do Desenho dos Furos

Esta função é executada por programas paramétricos que englobam cálculos matemáticos e listas organizadas de comandos do próprio sistema CAD. Os cálculos matemáticos envolvem a aplicação

de determinados algoritmos, dedicados à determinação das coordenadas dos pontos onde serão desenhados os furos dos vários tipos mostrados. Estes algoritmos têm como entrada os dados que parametrizam cada grade de furos.

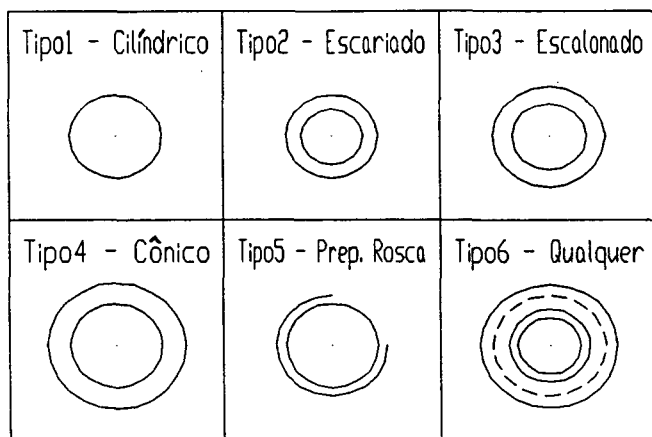


Figura 5.15- Representação gráfica dos furos.

Na medida em que existe uma analogia bastante grande entre os algoritmos, bastaria que se apresentasse alguns exemplos típicos que preenchessem, para efeito de maior elucidação, os seguintes requisitos:

- englobar maior número possível de parâmetros;
- ser o resultado de combinação entre outras grades de furos;

Assim, a seguir descreve-se, sucintamente, os algoritmos utilizados para determinação das coordenadas dos furos que compõem uma grade losangular e um contorno circular.

a) Grade Losangular de Furos

Etapas para determinação das coordenadas dos furos:

1 - Cálculo das componentes em x e y do afastamento entre furos na primeira disposição:

$$D_{x1} = \frac{x_n - x_1}{n - 1} \quad D_{y1} = \frac{y_n - y_1}{n - 1}$$

2 - Ídem para a segunda disposição:

$$D_{x2} = \frac{x_m - x_1}{m - 1} \quad D_{y2} = \frac{y_m - y_1}{m - 1}$$

3 - Determinação dos pontos X_{ij}, Y_{ij} :

Para $i=0$ até $(n-1)$

Para $j=0$ até $(m-1)$

$$\begin{aligned} X_{i+1,j+1} &= x_1 + i \cdot D_{x1} + j \cdot D_{x2} \\ Y_{i+1,j+1} &= y_1 + i \cdot D_{y1} + j \cdot D_{y2} \end{aligned}$$

$$j = j + 1$$

$$i = i + j$$

b) Contorno Circular de Furos

Algoritmo para definição dos pontos X_{ij}, Y_{ij} :

1. Cálculo do ângulo entre furos adjacentes no arco:

$$GAMA = \frac{BETA - ALFA}{n - 1}$$

2. Cálculo dos componentes em x e y do afastamento entre furos da disposição linear:

$$D_x = \frac{ep_x - sp_x}{m - 1} \quad D_y = \frac{ep_y - sp_y}{m - 1}$$

3. Cálculo das coordenadas do ponto inicial da disposição circular de furos:

$$x_1 = cp_x + \text{raio} * \cos(\text{ALFA})$$

$$y_1 = cp_y + \text{raio} * \text{sen}(\text{ALFA})$$

4. Cálculo das coordenadas do ponto final da disposição circular de furos:

$$x_n = cp_x + \text{raio} * \cos(\text{BETA})$$

$$y_n = cp_y + \text{raio} * \text{sen}(\text{BETA})$$

5. Cálculo das coordenadas do ponto final da disposição linear de furos:

$$x_{2n+m-2} = x_1 + (m-1) * Dx$$

$$y_{2n+m-2} = y_1 + (m-1) * Dy$$

6. Determinação dos pontos X_{ij}, Y_{ij} :

Para $i=0$ até $(n-1)$

$$\begin{aligned} x_{i+1} &= cp_x + \text{raio} * \cos(\text{ALFA} + i * \text{GAMA}) \\ y_{i+1} &= cp_y + \text{raio} * \text{sen}(\text{ALFA} + i * \text{GAMA}) \end{aligned}$$

$i = i + 1$

Para $j=1$ até $(m-1)$

$$x_{i+j+1} = x_n + j * D_x$$

$$Y_{i+j+1} = Y_n + j * D_y$$

$$j = j + 1$$

$$x_{c2} = cp_x + (m-1) * D_x$$

$$Y_{c2} = cp_y + (m-1) * D_y$$

Para k=1 até (n-1)

$$x_{i+j+k+1} = x_{c2} + raio * \cos(BETA - k * GAMA)$$

$$Y_{i+j+k+1} = Y_{c2} + raio * \sen(BETA - k * GAMA)$$

$$k = k + 1$$

Para l=1 até (m-2)

$$x_{i+j+k+1+1} = x_{2n+m-2} - l * D_x$$

$$Y_{i+j+k+1+1} = Y_{2n+m-2} - l * D_y$$

$$l = l + 1$$

Em cada coordenada (x,y) calculada, é desenhado um furo, em vista superior, do tipo escolhido para compor aquela grade. Para isso, lança-se mão de comandos do sistema CAD. No modelo proposto, dado o tipo de modelamento empregado na criação do desenho, os comandos utilizados são basicamente:

- "POINT";
- "CIRCLE";
- "ARC".

5.1.6 Funções de Manipulação

Estas funções visam agilizar ainda mais o trabalho do projetista na criação dos desenhos das grades de furos. O objetivo básico desses comandos é endereçar situações onde se deseja desenhar grades que sejam compostas de furos idênticos (mesmo código e geometria) e que se enquadrem em um mesmo tipo de parametrização (p.e. linha, arco, círculo etc), apenas possuindo

diferentes valores para determinados parâmetros. Também os planos de corte locais (partida e superfície) permanecem inalterados. Alguns dos parâmetros que podem ter seus valores alterados são:

- ponto de inserção da grade de furos;
- ângulo de inclinação da grade;
- dimensões das grades.

As operações de manipulação são executadas sempre sobre o desenho da primeira grade, que serve de referência para os demais. O modelo proposto prevê as seguintes opções para manipulação:

a) Escalamento

Os dados de entrada necessários à execução de uma operação de escalamento são:

- fator de escala de cada cópia;
- ponto de inserção de cada cópia.

Esta função de manipulação produz um efeito de ampliação ou redução das dimensões de uma determinada grade de furos, dependendo do fator de escala aplicado. Basicamente, são alterados parâmetros como afastamentos entre furos adjacentes e raios, no caso de arcos e círculos de furos. A figura 5.16 ilustra exemplo de uma disposição de furos em círculo, sobre a qual foram aplicados duas operações de escalamento.

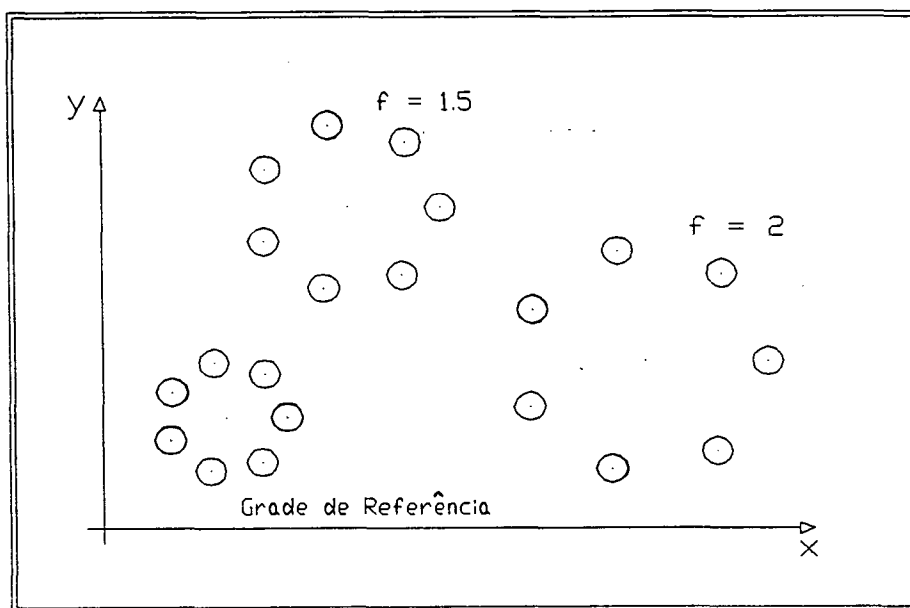


Figura 5.16- Escalamento aplicado sobre disposição de furos em círculo (f - fator de escala).

b) Cópia

Esta operação de manipulação agiliza a criação do desenho de uma peça que contenha um determinado número de grades de furos idênticas. Nestes casos, este tipo de função dá maior velocidade de desenho do que no caso de se executar várias vezes um mesmo programa paramétrico, pois diminui-se drasticamente o número de interações com o usuário. A figura 5.17 mostra uma grade losangular de furos, copiada em duas diferentes posições. Observa-se que todos os parâmetros que definem a grade de furos permanecem inalterados.

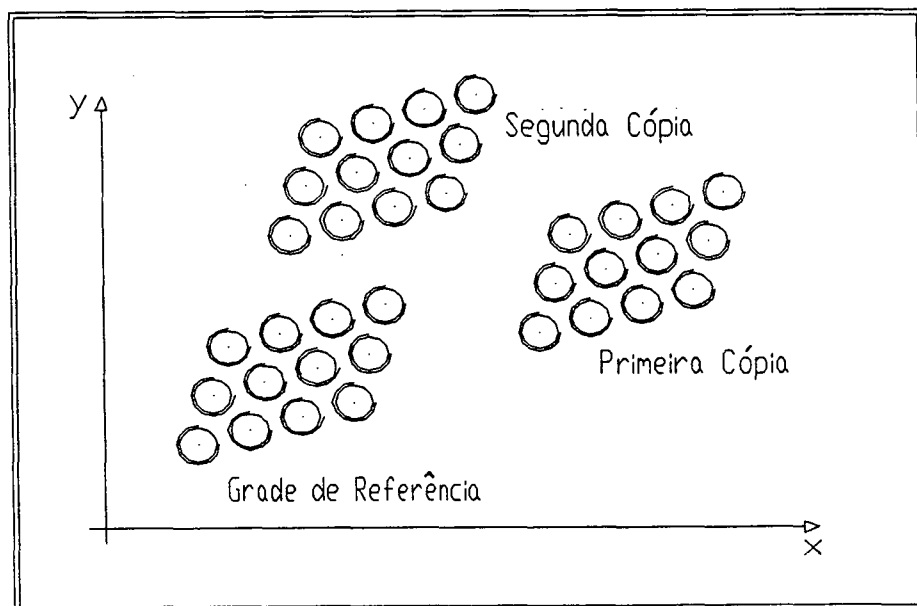


Figura 5.17- Cópia aplicada sobre grade losangular de furos.

c) Rotação e Translação

Estas operações são aplicadas de forma conjunta. Os dados de entrada necessários à execução desta operação são:

- ângulo de rotação de cada cópia;
- ponto de inserção de cada cópia.

Basicamente, são alterados os parâmetros relacionados à inclinação das grades de furos, além da posição de seus pontos no plano xy . A figura 5.18 ilustra operações de rotação e translação executadas sobre um arco de furos, tendo como ângulos de rotação 90^0 e 180^0 respectivamente.

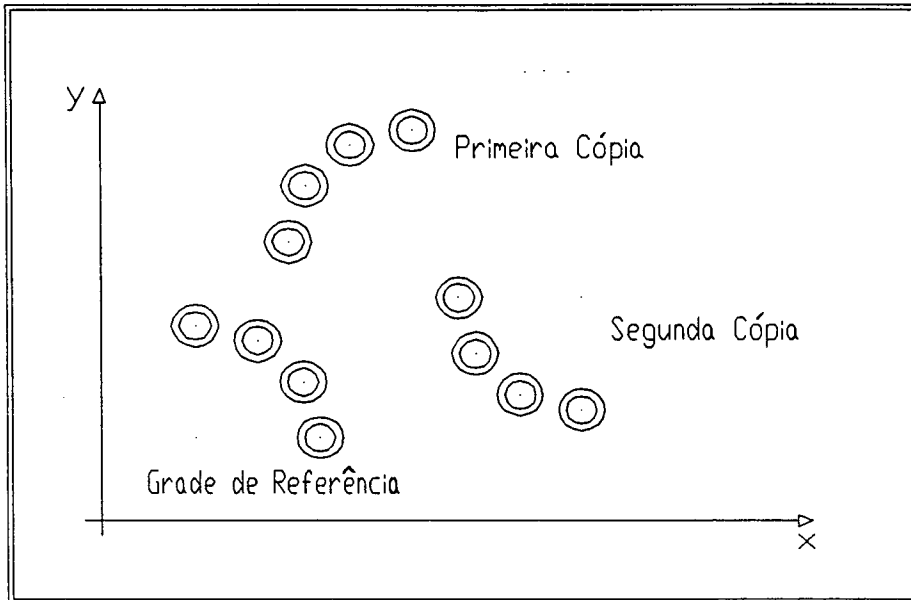


Figura 5.18- Rotação e Translação, aplicadas sobre disposição de furos em arco (90° e 180°)

d) Espelhamento

Esta operação de manipulação auxilia o projetista no desenho de grades que possuam simetria em relação a um determinado eixo. Os dados de entrada para execução desta operação são:

- coordenadas (x,y) do ponto inicial da reta auxiliar;
- coordenadas (x,y) do ponto final da reta auxiliar;

A figura 5.19 ilustra um exemplo de aplicação da função de espelhamento, sobre uma disposição linear de furos.

No caso da execução de funções de manipulação, cada grupo de furos resultante é considerado como uma nova entidade. Para efeito de "plotagem" do desenho, todas as coordenadas (x,y) dos furos que compõem determinada grade devem ser recalculadas, sendo mantidos, com relação à grade de referência, os atributos referentes à definição dos furos propriamente ditos (código e geometria) e localização dos planos de corte locais (partida e superfície).

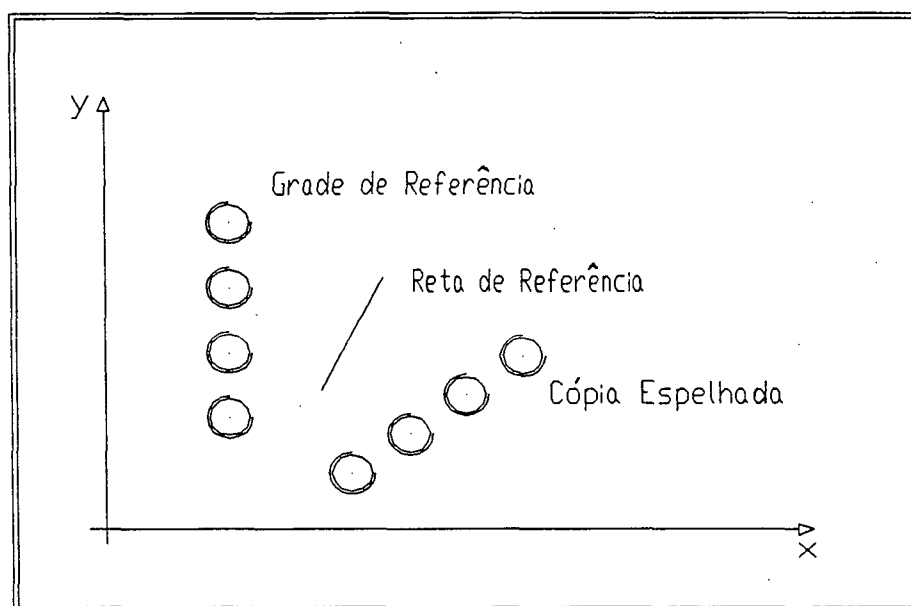


Figura 5.19- Espelhamento aplicado sobre disposição de furos em linha.

5.1.7 Gravação dos Dados em Arquivo Gráfico

Todos os dados relacionados à furação são gravados em arquivo gráfico na forma de blocos de informações.

Com a metodologia empregada na criação do "ambiente CAD-NC", passa-se a reconhecer que um certo grupo de entidades geométricas corresponde a uma disposição de furos, estes

considerados como entidades físicas, com atributos próprios. Graficamente, o desenho gerado pela parametrização em nada se diferencia se os furos fossem desenhados individualmente, apenas com recursos originais do próprio sistema CAD. As diferenças se apresentariam na velocidade de produção do desenho e no arquivo gráfico de saída, já que este seria constituído de um mero conjunto de entidades geométricas como pontos, linhas, círculos, arcos etc. Assim, não se conseguiria uma perfeita associação de características, dificultando uma correta interpretação deste arquivo para posterior integração com o sistema CAM [134].

5.2 INTERPRETAÇÃO DO ARQUIVO GRÁFICO DE SAÍDA DO CAD

Uma vez disponíveis no arquivo IGES gerado pelo pré-processador do próprio sistema CAD, os dados referentes à furação devem ser interpretados, trabalhados e armazenados em arquivo intermediário, de acesso randômico, que alimentará o processador NC.

Como visto no capítulo anterior, comumente arquivos gráficos gerados no formato IGES tornam-se extensos. Devido a este aspecto, optou-se por se trabalhar com arquivos intermediários, com intuito básico de aumentar-se a velocidade de processamento. Por se tratar de um arquivo tipo texto, o IGES proporciona relativa facilidade de exploração por programas interpretadores.

O trabalho no "ambiente CAD-NC" produz, para um determinado componente, a gravação de blocos relativos a cada grade de furos, constituídos da seguinte lista ordenada de dados:

- tipo de grade;
- dados que parametrizam a grade;

- código e dados sobre a geometria dos furos que a compõem;
- localização dos planos de partida, superfície e profundidade dos furos.

Os dados relativos às coordenadas do ZP e plano de retração global são gravados, também em bloco, em qualquer ponto do arquivo gráfico, dependendo do programador.

O algoritmo utilizado para interpretação do arquivo gráfico no formato IGES baseia-se nos seguintes passos:

1. Cálculo do número de grades existentes na peça;
2. Criação de arquivo, de acesso randômico, para armazenamento de informações sobre tipo da grade, dados necessários à sua parametrização, código e geometria dos furos e planos de corte;
3. Criação de arquivo, também de acesso randômico, para armazenamento das coordenadas do ZP e localização do PRG;
4. Volta ao início do arquivo gráfico;
5. Ler linha do IGES;
6. Se existe identificador de grade de furos, então lê-lo, senão passar à próxima linha e voltar ao passo 5;
7. Se identificador se refere à definição do ZP, então ler sucessivas linhas, extrair valores de ZEROX, ZEROY, ZEROZ e RETRACGLOBAL, até encontrar identificador de final de bloco, passar à próxima linha e voltar ao passo 5, senão identificar tipo de grade;
8. De acordo com tipo de grade identificada, ler sucessivas linhas para extração dos dados que parametrizam-na, código e geometria dos furos que a compõem e posição dos planos de corte, até encontrar identificador de fim de bloco;

9. Gravar informações extraídas no(s) arquivo(s) intermediário(s) devido(s);
10. Passar a próxima linha do arquivo IGES;
11. Se localizar identificador de fim de arquivo IGES, então parar, senão voltar ao passo 5.

Ao final do processo de depuração do arquivo IGES, possui-se montados dois arquivos de acesso randômico: o primeiro armazena as coordenadas do ZP e a posição do PRG e o segundo armazena, em cada linha, as seguintes informações:

- indicador do tipo de grade;
- dados que parametrizam a grade;
- número, código e geometria dos furos que a compõem;
- posição dos planos de partida, superfície e profundidade.

A leitura desses arquivos permite o cálculo das coordenadas dos centros de todos os furos existentes na peça, já com respeito ao ZP. Esta tarefa é desempenhada por outro módulo do modelo proposto, fundamentado em um algoritmo, que compreende as seguintes etapas:

1. Ler, do devido arquivo, os valores das coordenadas ZEROX, ZEROY, ZEROZ e RETRACGLOBAL;
2. Posicionar cursor no início do arquivo intermediário de dados geométricos;
3. Ler linha do arquivo;
4. Identificar tipo de grade e extrair dados que parametrizam-na, bem como o código e geometria dos furos que a compõem e valores que definem o posicionamento dos planos de corte;

5. De acordo com o tipo de grade e utilizando-se os valores dos parâmetros que a definem, calcular (x_i, y_i) , levando-se em consideração as coordenadas do ZP (ZEROX, ZEROY);
6. Armazenar dados na matriz de coordenadas (x, y) dos furos;
7. Posicionar cursor na próxima linha do primeiro arquivo intermediário;
8. Se localizar final de arquivo, então parar, senão voltar ao passo 3.

Ao final deste processamento, dispõe-se de uma matriz que armazena os valores das coordenadas (x, y) do centro de todos os furos existentes no componente a ser programado.

5.3 GERAÇÃO DO PROGRAMA NC

Último estágio do modelo proposto, a geração dos programas NC se dá em três etapas distintas:

- definição do comando a ser utilizado;
- entrada de dados referentes à máquina-ferramenta a ser utilizada;
- processador NC.

5.3.1 Definição do Comando a Ser Utilizado

Como exemplo de aplicação, o modelo proposto oferece, como opção básica de saída, programas NC direcionados aos comandos "Sinumerik 3M" e "Sinumerik 7M", disponíveis na UFSC. Como visto no capítulo anterior, busca-se maior flexibilidade no formato do programa NC produzido, através da possibilidade de redefinição das

declarações para outros comandos. O objetivo básico é permitir que os códigos NC sejam produzidos de acordo com as peculiaridades de vários dos comandos existentes.

Através de diálogo, como será ilustrado no próximo capítulo, o programador define o formato dos endereços utilizados no programa NC, de acordo com o comando utilizado. Estas informações de sintaxe das declarações são armazenadas em arquivo para uso posterior. Caso o programador deseje gerar o código NC para um comando já definido, a etapa de codificação dos endereços fica suprimida, bastando apenas que indique o tipo de comando a ser utilizado. O processador NC se incumbirá de adequar o programa gerado ao formato de cada declaração imposto pelo comando escolhido.

No processador NC, que incorpora o modelo computacional proposto, são utilizados os seguintes endereços:

- N - número de bloco;
- G - funções preparatórias;
- D - valor de compensação de ferramenta;
- X - comando no eixo x;
- Y - comando no eixo y;
- Z - comando no eixo z;
- F - avanço ou velocidade de avanço;
- S - frequência de rotação do fuso;
- T - número da ferramenta;
- M - funções miscelâneas;
- R - parâmetros de sub-rotinas (ciclos).

5.3.2 Entrada de Dados Referentes à Máquina-Ferramenta

Uma vez que dispõe-se dos dados referentes à peça (geometria e processo de fabricação) e ao comando CNC, para o qual será gerado o programa, resta definir-se dados relativos à máquina ferramenta utilizada. Estas informações, fornecidas pelo usuário, compõem-se de dados referentes a:

- coordenadas do ponto de troca de ferramenta;
- ângulo de giro do estrado;
- número do estrado a ser acionado (para o comando 3M);
- escolha quanto ao uso de fluido de corte (s/n).

Desta forma, o sistema pode gerar, de forma automática, blocos de sentenças para definição de cabeçalho e final de programa, bem como para operação de troca de ferramenta.

5.3.3 O Processador NC

Tem como função acessar os arquivos intermediários (dados geométricos e tecnológicos), o arquivo referente a definição do comando CNC utilizado, a matriz de coordenadas (x,y) dos furos e, baseado nos dados relativos à máquina-ferramenta, gerar o programa NC para cada componente.

Segundo Stemmer [137], cerca de 80% dos furos existentes em peças do ramo metal-mecânico são simplesmente cilíndricos. Extrapolando este dado, o modelo proposto aborda os seguintes tipos de furos:

- cilíndricos;
- escariados;

- com rosca.

Para usinagem desses tipos de furos, que podem ser passantes ou não, o sistema leva em consideração a utilização das seguintes ferramentas:

- brocas de centro;
- brocas helicoidais;
- escariadores;
- machos;
- alargadores.

Na definição da trajetória de cada ferramenta e posterior codificação do programa NC, lança-se mão de ciclos-fixos disponíveis na grande maioria dos comandos. Um ciclo de furação corresponde a uma evolução fixa de movimentos individuais da máquina, para furação, mandrilamento, rosqueamento etc. Em relação ao programa NC, o uso de ciclos pode facilitar em muito a tarefa do programador devido a maior simplicidade e menor extensão do programa. Para atender os requisitos impostos pelos tipos de furos abordados, são utilizados os seguintes ciclos, no caso do comando 3M:

a) Furação Simples e Centragem - G81 (figura 5.20)

Neste ciclo devem ser definidos valores para os seguintes parâmetros:

- R02: plano de referência (partida);
- R03: profundidade final de usinagem (absoluto).

O processador NC calcula R03, a partir dos dados sobre o posicionamento dos planos de corte da grade, armazenados no arquivo intermediário:

$$R03 = \text{Plano de Superfície} - \text{Profundidade do Furo}$$

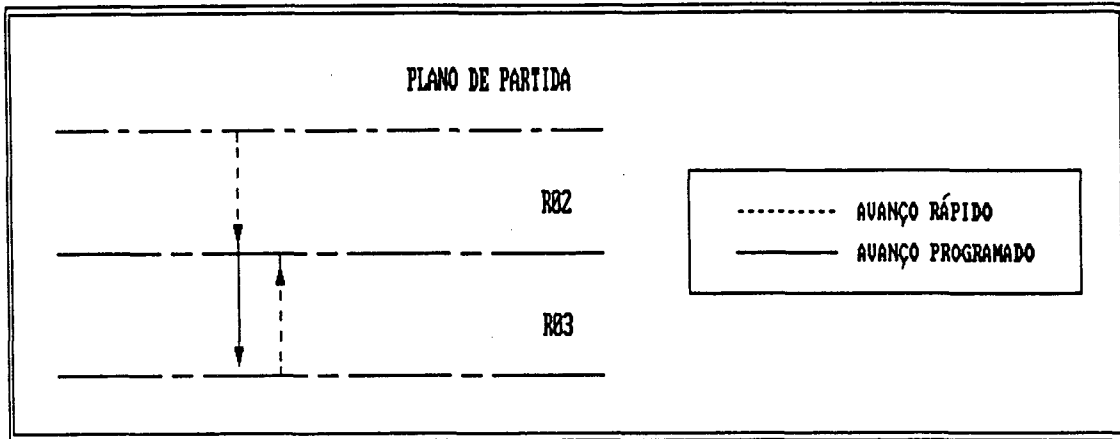


Figura 5.20- Ciclo de furação simples e centragem (G81).

b) Furação Profunda - G83 (Figura 5.21)

Este ciclo é utilizado quando:

$$\frac{P}{D} > 3 \quad \text{onde}$$

P - profundidade do furo

D - diâmetro do furo

Para este tipo de ciclo, devem ser definidos os seguintes parâmetros:

- R00: tempo de espera (ponto inicial);

- R01: primeira profundidade de furação;
- R02: plano de referência (absoluto);
- R03: profundidade final de usinagem;
- R04: tempo de espera no fundo;
- R05: decréscimo de profundidade.

A definição dos valores para os parâmetros acima citados se dá da seguinte forma:

- R02: retirado do arquivo intermediário;
- R00 e R04: estipulados pelo sistema;
- R01, R03 e R05: calculados pelo processador NC.

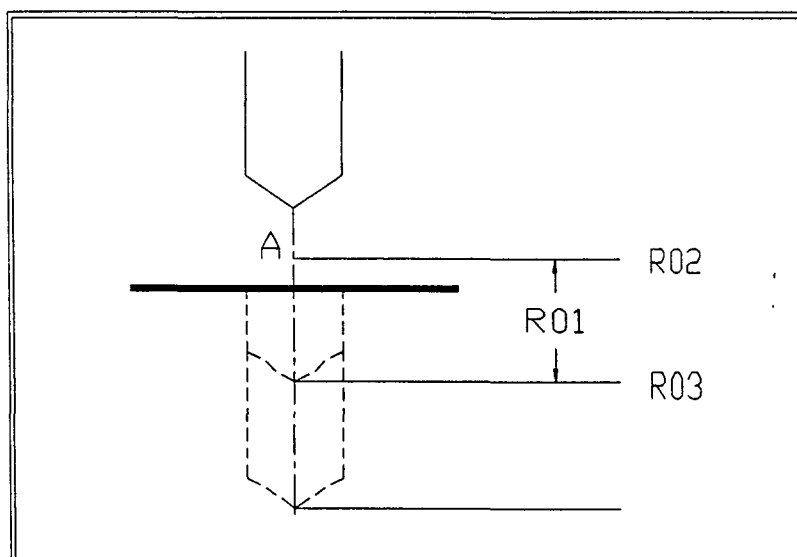


Figura 5.21- Ciclo de furação profunda (G83)

c) Rosqueamento com macho - G84 (Figura 5.22)

Para a chamada do ciclo de rosqueamento com macho, os seguintes parâmetros devem ter um valor designado:

- R02: plano de referencia (absoluto);

- R03: profundidade final de usinagem;
- R06: inversão do sentido de rotação;
- R07: retorno do sentido de rotação.

Da mesma forma como nos ciclos anteriores, o valor a ser atribuído ao parâmetro R02 é retirado do arquivo intermediário de dados geométricos e o valor de R03 é calculado da seguinte forma:

$$R03 = \text{Plano de Superfície} - \text{Profundidade da Rosca}$$

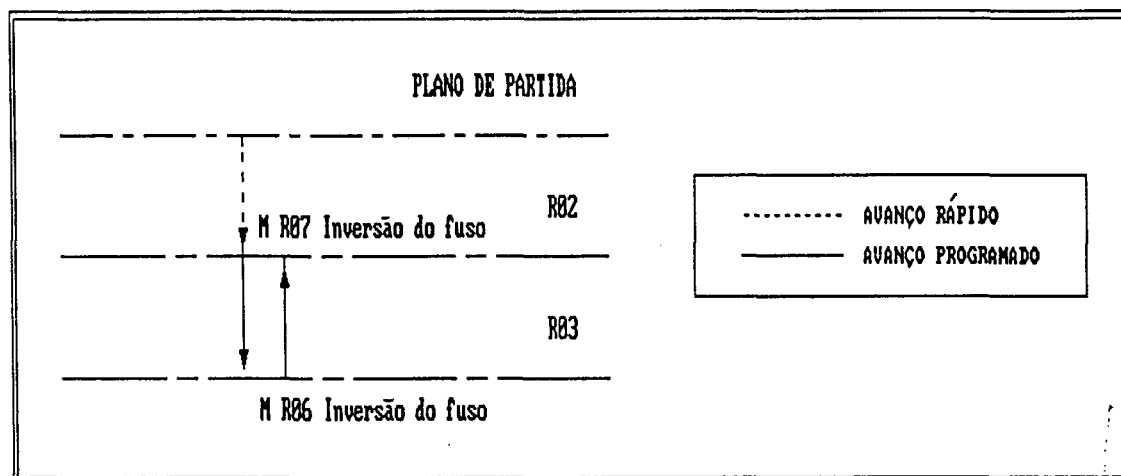


Figura 5.22- Ciclo de rosqueamento com macho (G84).

Detalhados todos os aspectos envolvidos na programação NC, resta tratar-se da geração do programa propriamente dito. O processador NC, responsável por esta tarefa, foi desenvolvido com base na aplicação de um algoritmo composto dos seguintes passos básicos:

1. Leitura do arquivo de dados tecnológicos provenientes do CAPP.
2. Identificação das ferramentas a serem utilizadas na usinagem.

3. Leitura e ordenação, em ordem crescente, dos valores dos diâmetros de todas as ferramentas, tipo a tipo, e respectivos valores dos parâmetros corte.
4. Codificação de início de programa, com base nos dados referentes à máquina-ferramenta.
5. Identificar broca de centro e efetuar troca de ferramenta;
6. Ordenação das coordenadas dos furos, com relação à sua distância ao ponto de troca, para determinação do melhor percurso da ferramenta;
7. Para cada grade de furos, calcular parâmetros R2 e R3, montar ciclo de furação G81 e codificar sentenças do programa NC.
8. Selecionar próxima ferramenta e efetuar troca.
9. Identificar primeira grade a ser usinada com ferramenta atual.
10. Identificar código dos furos que compõem a grade.
11. Compatibilizar ferramenta/código dos furos que compõem a grade a ser usinada e extrair valores dos parâmetros de corte do arquivo do CAPP.
12. Posicionar ferramenta atual nas coordenadas do primeiro furo da grade a ser usinada, sobre o Plano de Retração Global.
13. Determinar o tipo de ciclo a ser empregado, calcular parâmetros (R) e codificar sentenças do programa NC.
14. Se mesma ferramenta for utilizada em outra grade, então identificar próxima grade a ser usinada e voltar ao passo 10.
15. Se a atual ferramenta for a última do arquivo CAPP, então codificar sentenças de final de programa e parar.
16. Se a atual ferramenta for a última do mesmo tipo, então identificar primeira ferramenta do próximo tipo e voltar ao passo 9, senão buscar próxima ferramenta do mesmo tipo (diâmetro imediatamente maior) e voltar ao passo 9.

Como pode-se observar, o algoritmo se fundamenta em duas premissas básicas:

- a) as ferramentas são ordenadas pelo valor crescente de seus diâmetros e nesta ordem são utilizadas no programa.
- b) pela ordem, são utilizadas ferramentas dos seguintes tipos:
 - brocas;
 - escariadores;
 - alargadores;
 - machos;
- c) de posse de uma determinada ferramenta, a grade a ser usinada é a mais próxima do ponto de troca; se esta ferramenta é utilizada em alguma outra grade, a escolhida é a que se localize a menor distância da posição atual da ferramenta, excetuando-se a(s) grade(s) já usinada(s).

No caso em questão onde são tratadas peças prismáticas que possuam furos apenas em uma face, estas premissas garantem a consistência do seqüenciamento das ferramentas, minimizando o tempo principal pela otimização da trajetória das ferramentas e diminuição do número de trocas, fatores que se não levados em consideração, podem reduzir drasticamente a produtividade da usinagem em máquinas CNC.

CAPÍTULO VI

IMPLEMENTAÇÃO

Desenvolvida e detalhada a solução proposta, cabe agora descrever a implementação do modelo computacional. Esta descrição se baseará em diagramas de fluxo de dados (DFD) e fluxogramas de sistema e de lógica. Ao final deste capítulo, apresenta-se, objetivando elucidar a operação do sistema, a construção de um exemplo aplicado, desde o desenho dos furos no CAD até a geração do programa NC.

6.1 DEFINIÇÃO DOS RECURSOS

O sistema foi desenvolvido para microcomputadores compatíveis com a linha IBM PC-XT ou AT. Cabe salientar que a utilização de um AT é mais adequada, devido à maior velocidade de processamento. Uma maior rapidez no processamento pode trazer vantagens principalmente na velocidade de geração dos desenhos no CAD e na etapa de interpretação do IGES, agilizando-as em muito.

Ainda a nível de hardware, necessita-se da utilização de um acionador de discos flexíveis de 5 1/4" e um disco rígido de 10 Mbytes. Não há necessidade de periféricos adicionais.

A nível de software, utilizou-se o MS-DOS como sistema operacional e todos os módulos externos ao sistema CAD foram desenvolvidos na linguagem PASCAL. Foi utilizada ainda, uma adaptação da linguagem LISP, denominada AutoLISP [138, 139, 140], para criação dos programas paramétricos residentes no "ambiente CAD-NC".

6.2 ESTRUTURA DO SISTEMA

Na versão atual, o sistema pode ser dividido em três partes principais (figura 6.1):

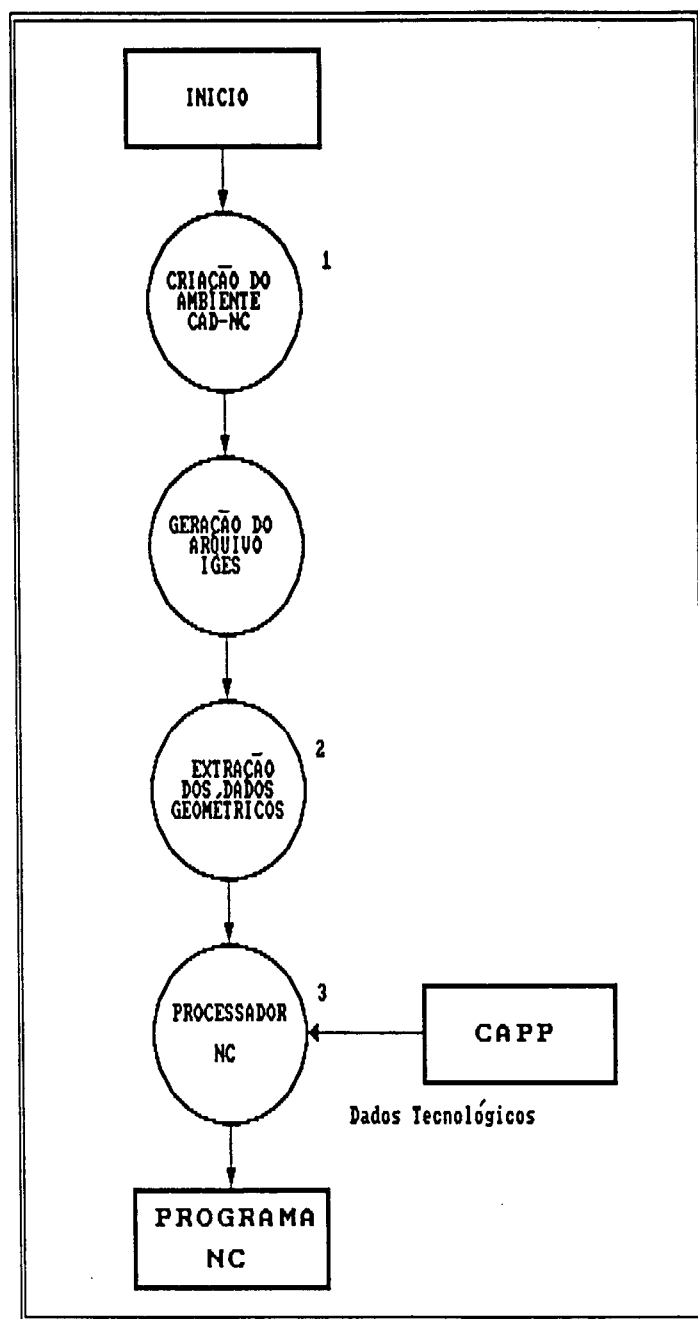


Figura 6.1- Estrutura principal do sistema.

- "ambiente CAD-NC", que trabalha incorporado ao CAD comercial;
- módulo para extração de dados geométricos do arquivo gráfico IGES e montagem do arquivo intermediário de dados geométricos;
- módulo de geração dos programas NC a partir da extração das informações contidas nos arquivos intermediários (dados geométricos e tecnológicos).

Fazendo-se a explosão do sistema, a partir de seus módulos principais, tem-se:

1. Geração do desenho no "ambiente CAD-NC" (figura 6.2):
2. Geração do arquivo IGES (figura 6.3):

Etapa executada pelo próprio pré-processador do sistema CAD, de modo transparente ao usuário. Neste estágio ocorre a conversão do desenho da peça do padrão gráfico particular do sistema CAD para o formato do padrão gráfico utilizado.

3. Extração de dados do IGES (figura 6.4):

Nesta etapa executa-se a análise do conteúdo do arquivo IGES gerado pelo sistema CAD e extração de informações lá contidas, para montagem do arquivo intermediário de dados geométricos e do arquivo que armazena as coordenadas (x,y,z) do ZP e a localização do PRG.

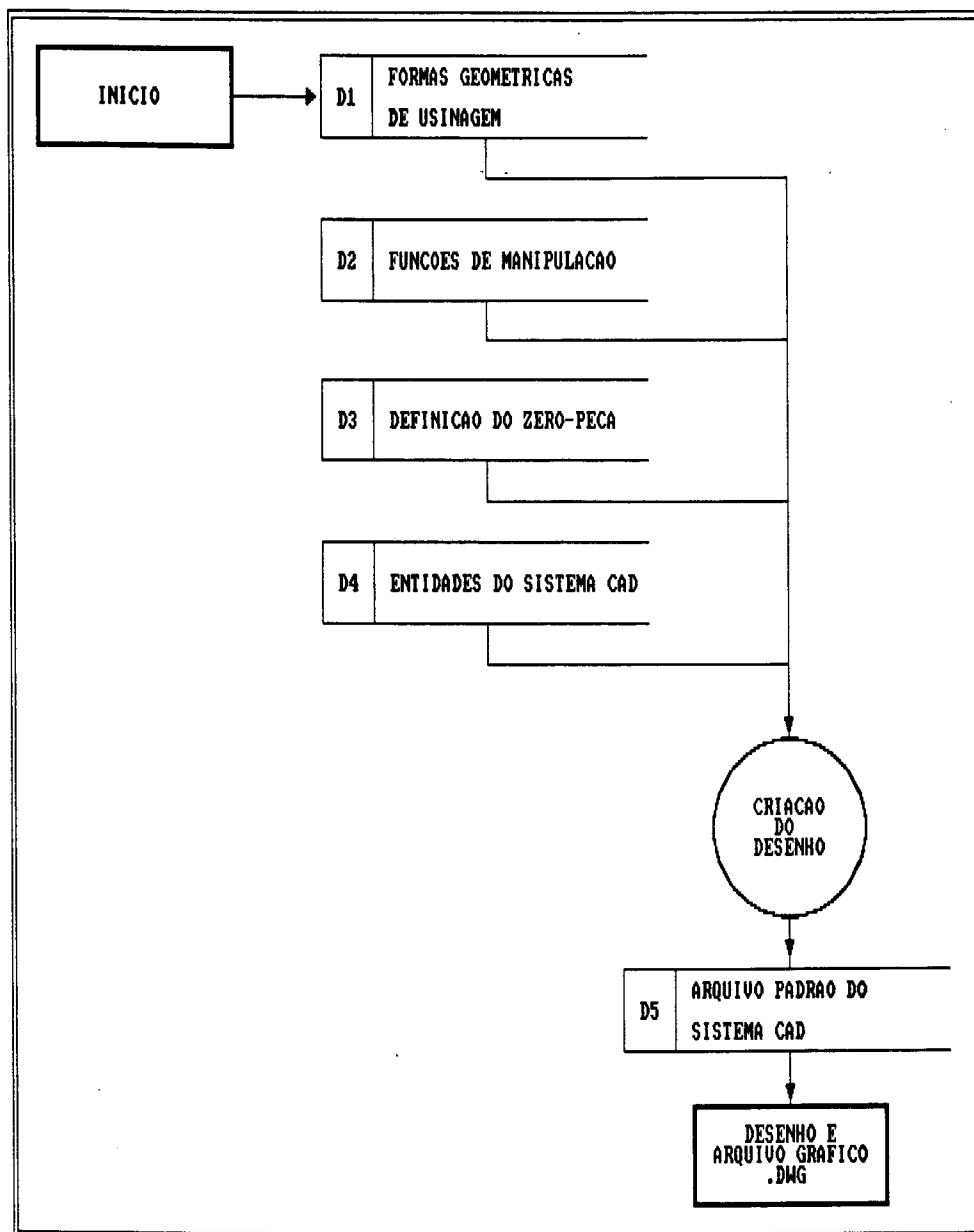


Figura 6.2- Criação do "ambiente CAD-NC".

4. Preparação de dados geométricos ao CAM (figura 6.5):

Trata-se da extração de informações do arquivo intermediário de dados geométricos e do arquivo que armazena as coordenadas do ZP e localização do PRG, e cálculo das coordenadas

(x,y) de todos os furos existentes na peça, já com relação ao ZP. Como foi dito no capítulo anterior, essas coordenadas são organizadas e armazenadas em uma matriz.

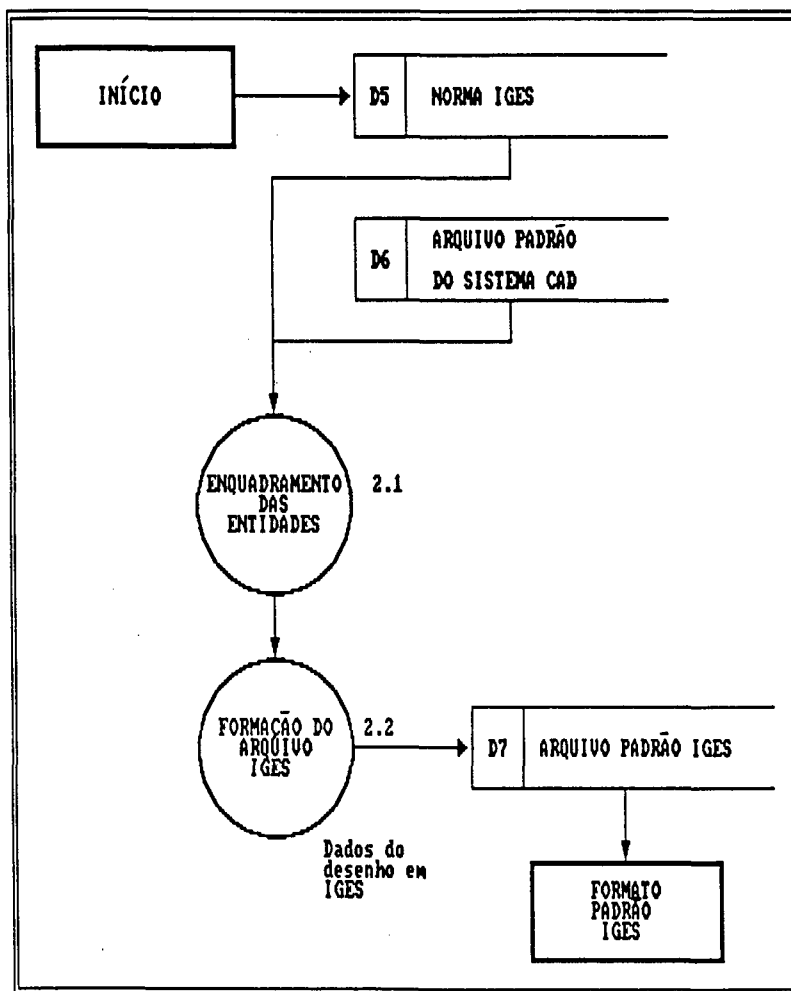


Figura 6.3- Geração do arquivo IGES.

5. Geração do programa NC (figura 6.6):

Etapa que compreende a extração de informações do arquivo intermediário de dados geométricos, da matriz de coordenadas (x,y) dos centros dos furos e do arquivo de dados tecnológicos do processo (proveniente do CAPP), processamento dessas informações e produção do código NC, a partir da definição

das características de sintaxe relativas ao CNC e das informações sobre a máquina-ferramenta a ser utilizada.

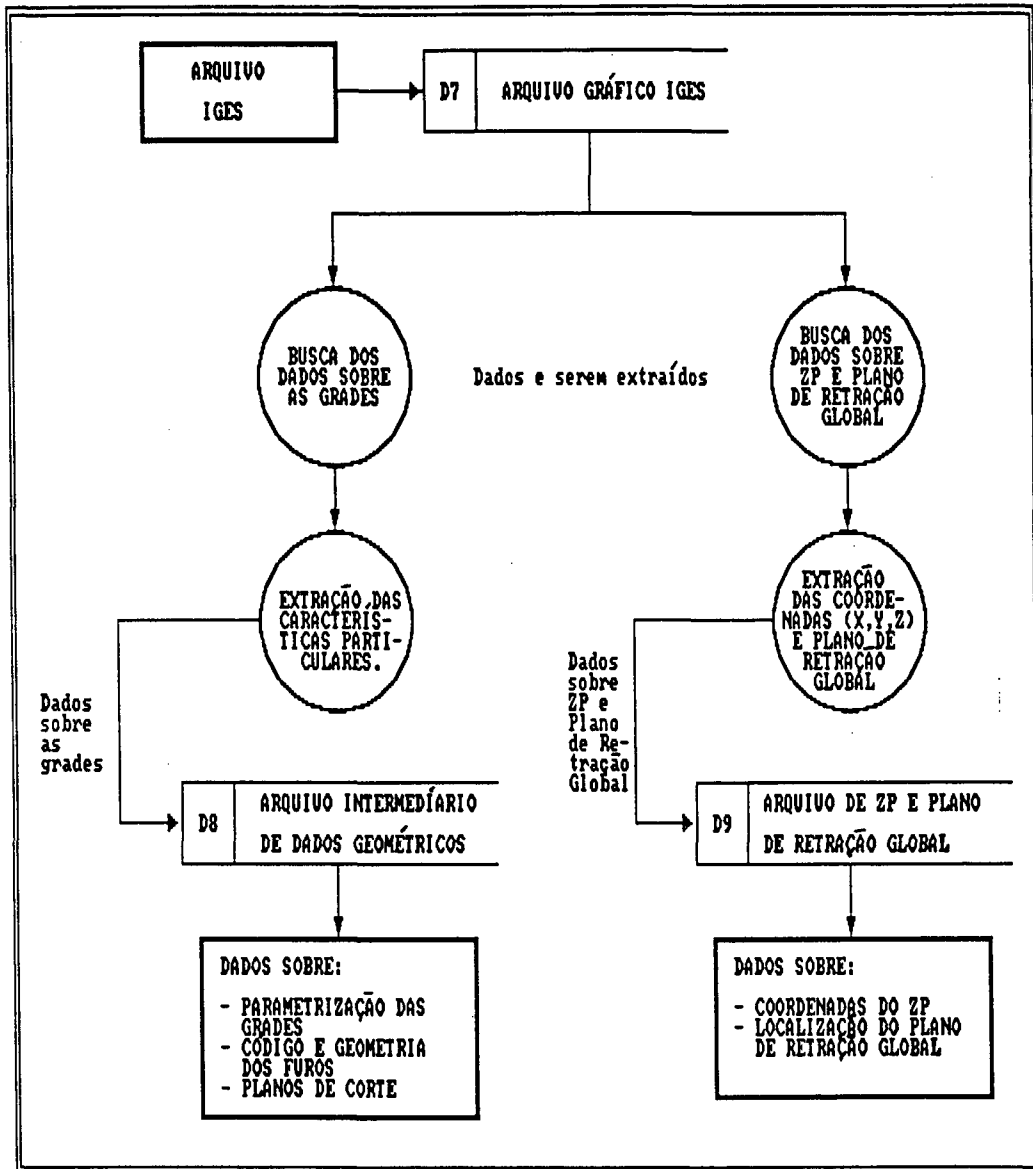


Figura 6.4- Extração de dados do arquivo IGES.

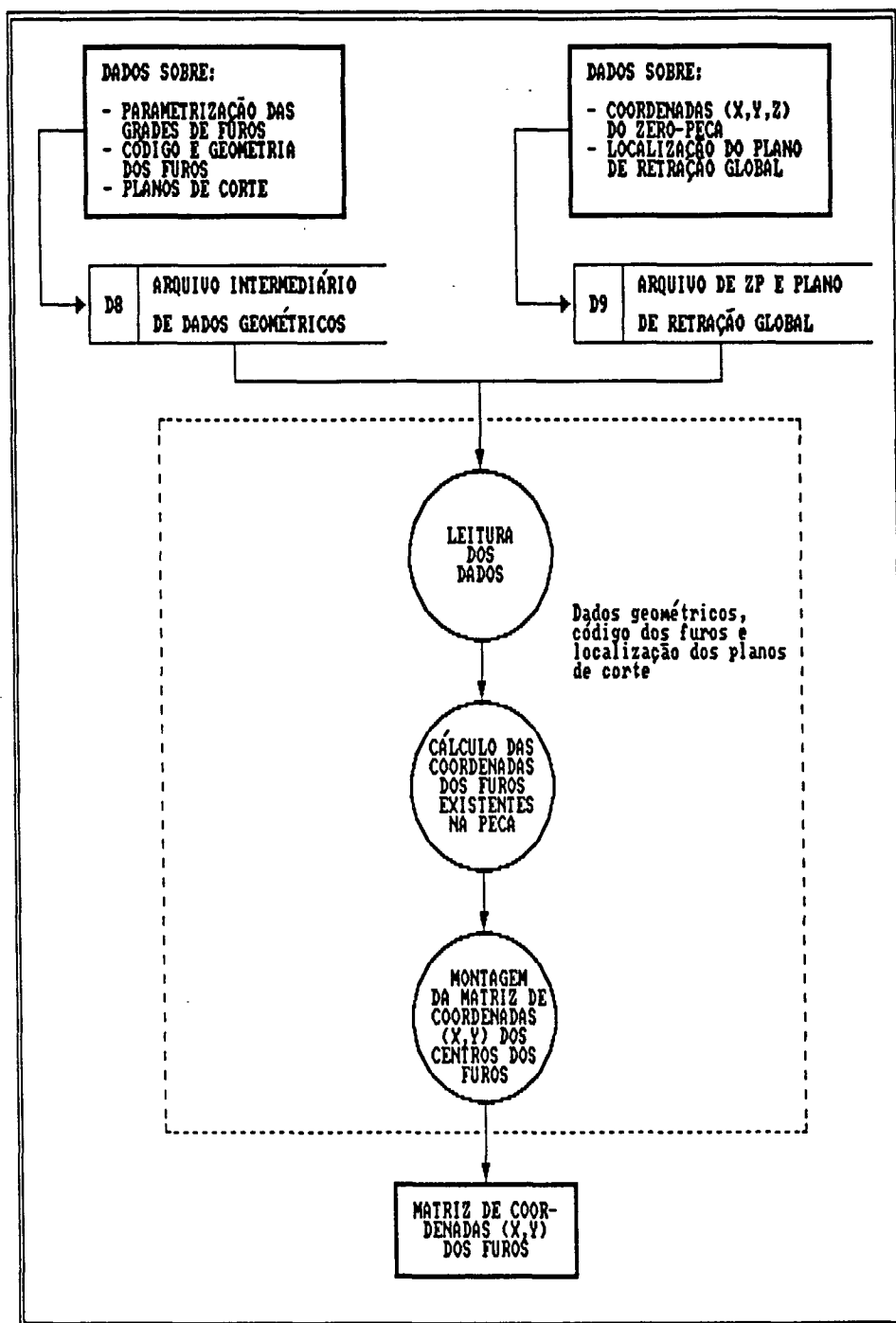


Figura 6.5- Preparação de dados geométricos ao CAM.

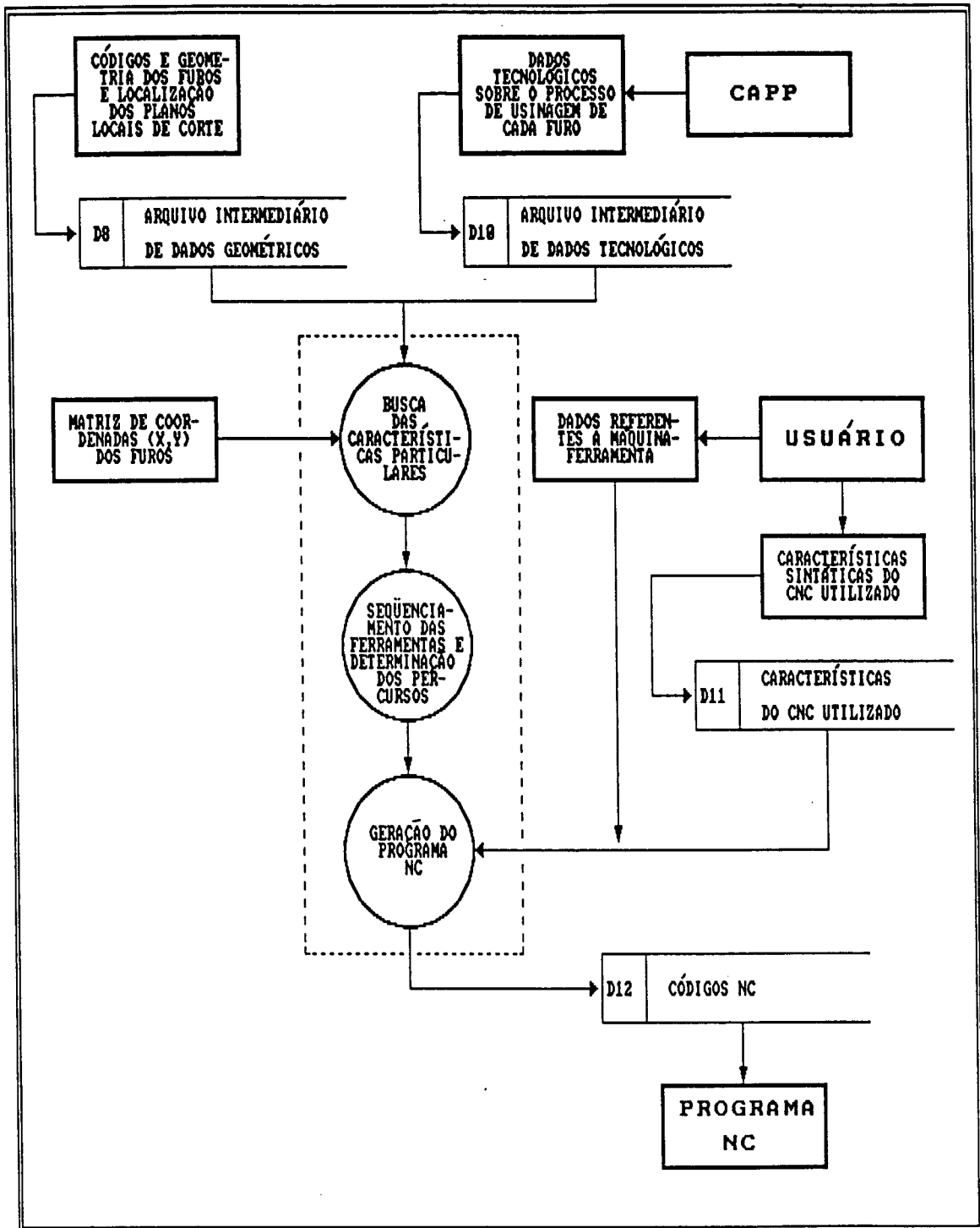


Figura 6.6- Geração do programa NC.

6.3 DESCRIÇÃO DO SISTEMA

Uma vez conhecida a estrutura do sistema como um todo, parte-se agora para uma implementação discretizada, módulo a módulo, englobando todos as etapas do processo de geração dos programas NC.

6.3.1 O Desenho da Peça

Para realização desta etapa, dispõe-se dos comandos originalmente disponíveis no sistema CAD, adicionados das novas funções, criadas no "ambiente CAD-NC" para furação. O que possibilitou a implementação de um novo ambiente de trabalho, na estrutura do CAD, foi o recurso, já citado, de que dispõem os sistemas CAD atuais, de permitirem que sejam criados comandos adicionais, com base em determinadas linguagens de programação.

Assim, para cada tipo de disposição de furos detalhado no capítulo anterior, foi criado um programa paramétrico para geração da representação gráfica dos furos, entrada de dados sobre localização dos planos de corte locais, código e geometria dos furos e funções de manipulação.

6.3.1.1 Definição do Zero-Peça e Plano de Retração Global

Etapa básica na programação NC, a definição das coordenadas do ZP é executada em qualquer momento, durante a sessão de trabalho no "ambiente CAD-NC". O programador, uma vez que já escolheu a posição do ZP no desenho, pode defini-lo efetivamente a partir da execução de um programa paramétrico. Este

programa também engloba, como já mencionado, a definição da localização do PRG. Um fluxograma de sistema e outro de lógica desta etapa são mostrados na figura 6.7.

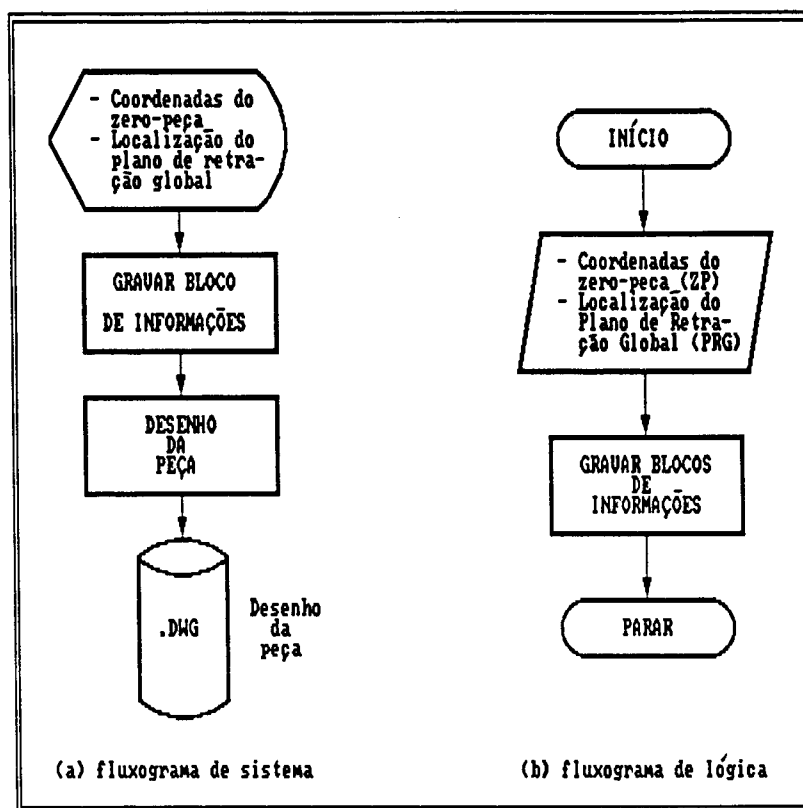


Figura 6.7- Definição do Zero-Peça e localização do Plano de Retração Global.

6.3.1.2 Construção do Desenho dos Furos

Como foi dito, a construção do desenho de cada tipo de grade se dá a partir da execução de um programa paramétrico específico. Este tipo de programa determina que o usuário atribua valores aos dados específicos sobre as grades de furos. Estes valores são assumidos por variáveis que são processadas, gerando valores para outras variáveis. Estes são, então, utilizadas para alimentar comandos como pontos, linhas, arcos etc. O diagrama de

fluxo de dados para um programa paramétrico genérico é ilustrado na figura 6.8.

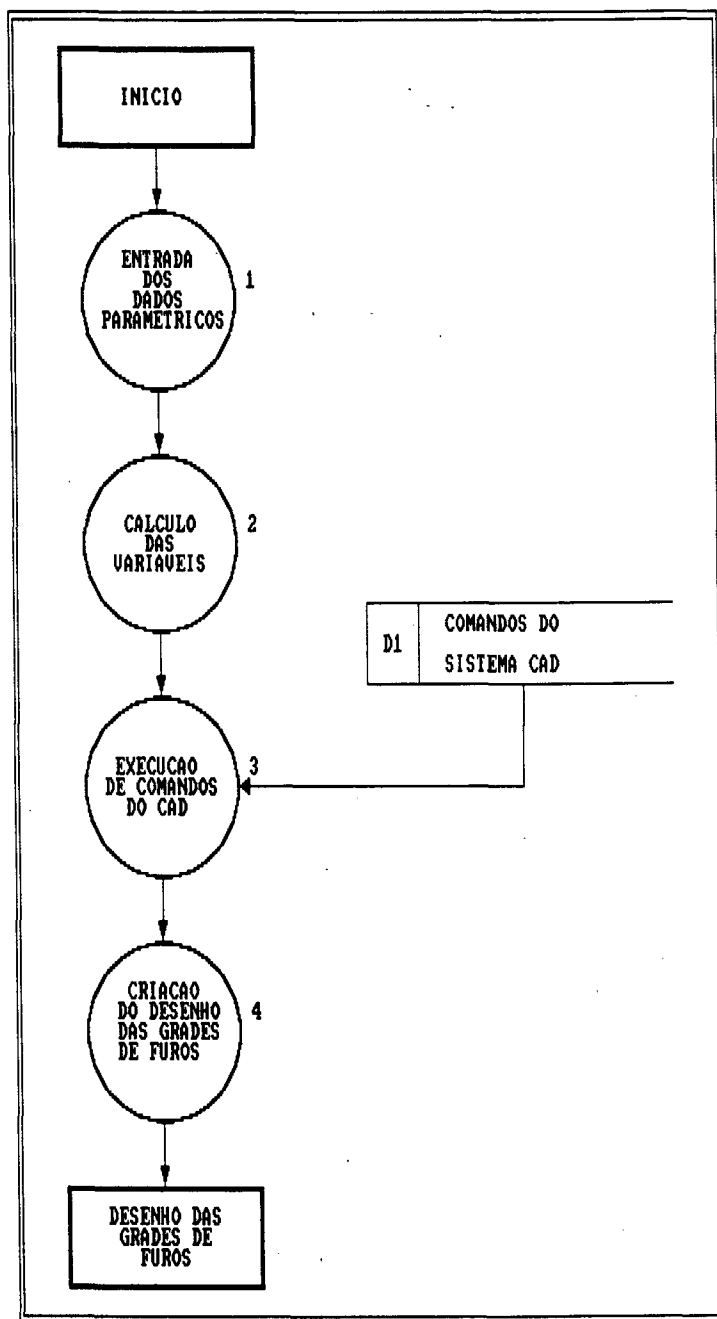


Figura 6.8- Estrutura de um programa paramétrico.

Seguindo a mesma metodologia empregada no capítulo anterior e dada a analogia entre os programas paramétricos com

relação a sua estrutura, implementar-se-ão os dois tipos de grupos de furos detalhadas anteriormente.

a) Grade Losangular de Furos

Para o desenho de uma grade losangular de furos utiliza-se o algoritmo explicado no item 5.1.5(a). Os fluxogramas de sistema e de lógica deste programa são mostrados nas figuras 6.9 e 6.10 respectivamente.

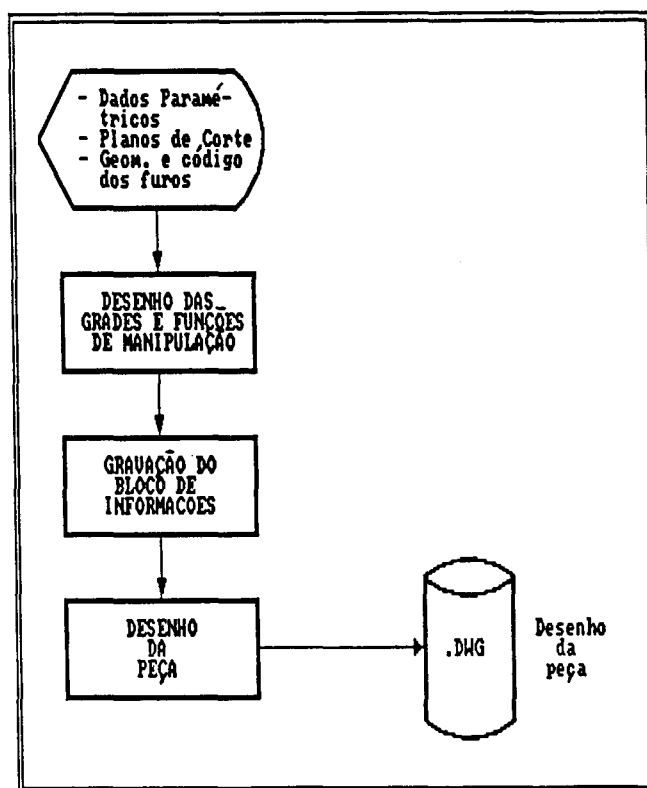


Figura 6.9- Desenho das grades de furos: fluxograma de sistema.

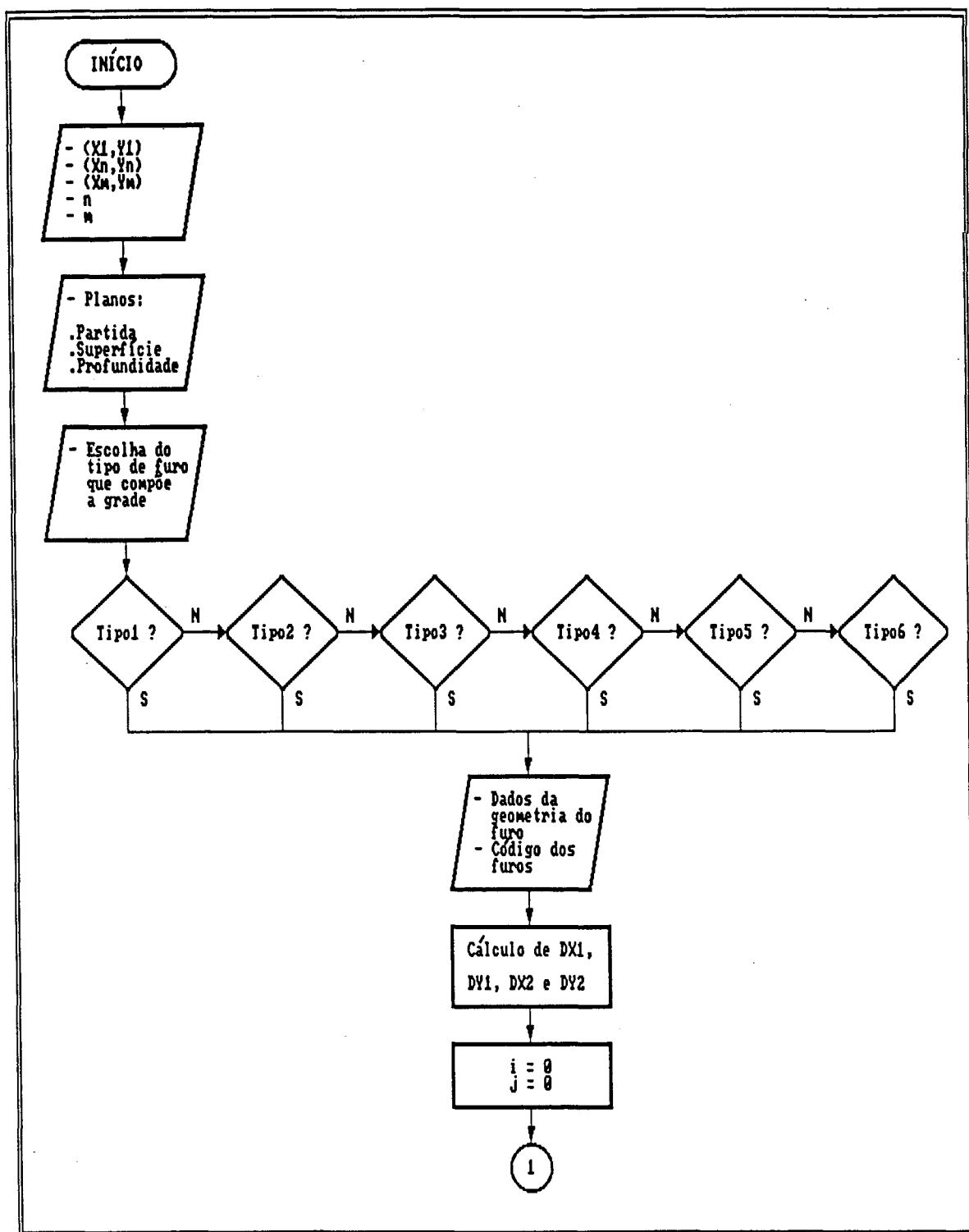


Figura 6.10a- Desenho de uma grade losangular de furos: fluxograma de lógica (continua).

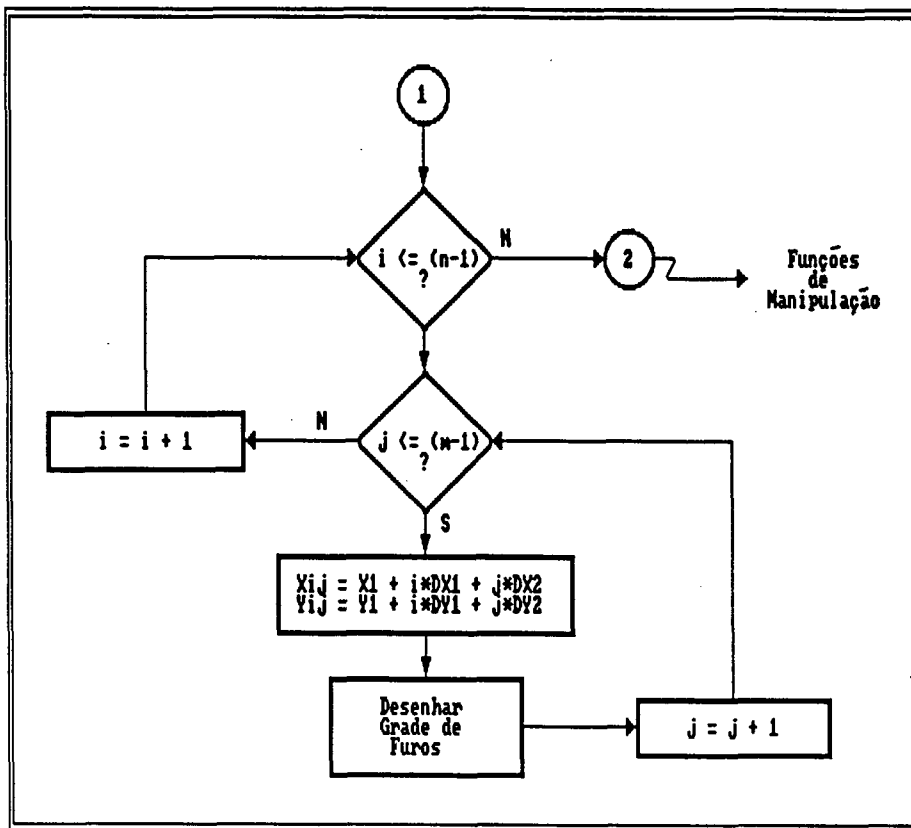


Figura 6.10b- Desenho de uma grade losangular de furos: fluxograma de lógica (continuação).

b) Contorno Circular de Furos

Neste caso o algoritmo empregado é o detalhado no item 5.1.5(b). O fluxograma de sistema para este programa paramétrico é idêntico ao anterior. O fluxograma de lógica pode ser visto na figura 6.11.

A criação do desenho das grades de furos se inicia a partir da escolha do tipo de grade a ser plotada. Esta escolha é feita através de "menu", de fácil acesso, como será visto mais adiante.

A partir desta escolha, o sistema inicia a execução do programa paramétrico referente à grade de furos escolhida. Inicialmente, o programador, através de diálogo, fornece ao

sistema os valores dos dados que parametrizam a grade de furos. Uma vez definidos os valores desses parâmetros, o sistema argui o programador sobre a localização dos planos de corte locais. Estes planos orientarão a trajetória de cada ferramenta envolvida na usinagem dos furos que pertencem àquela grade.

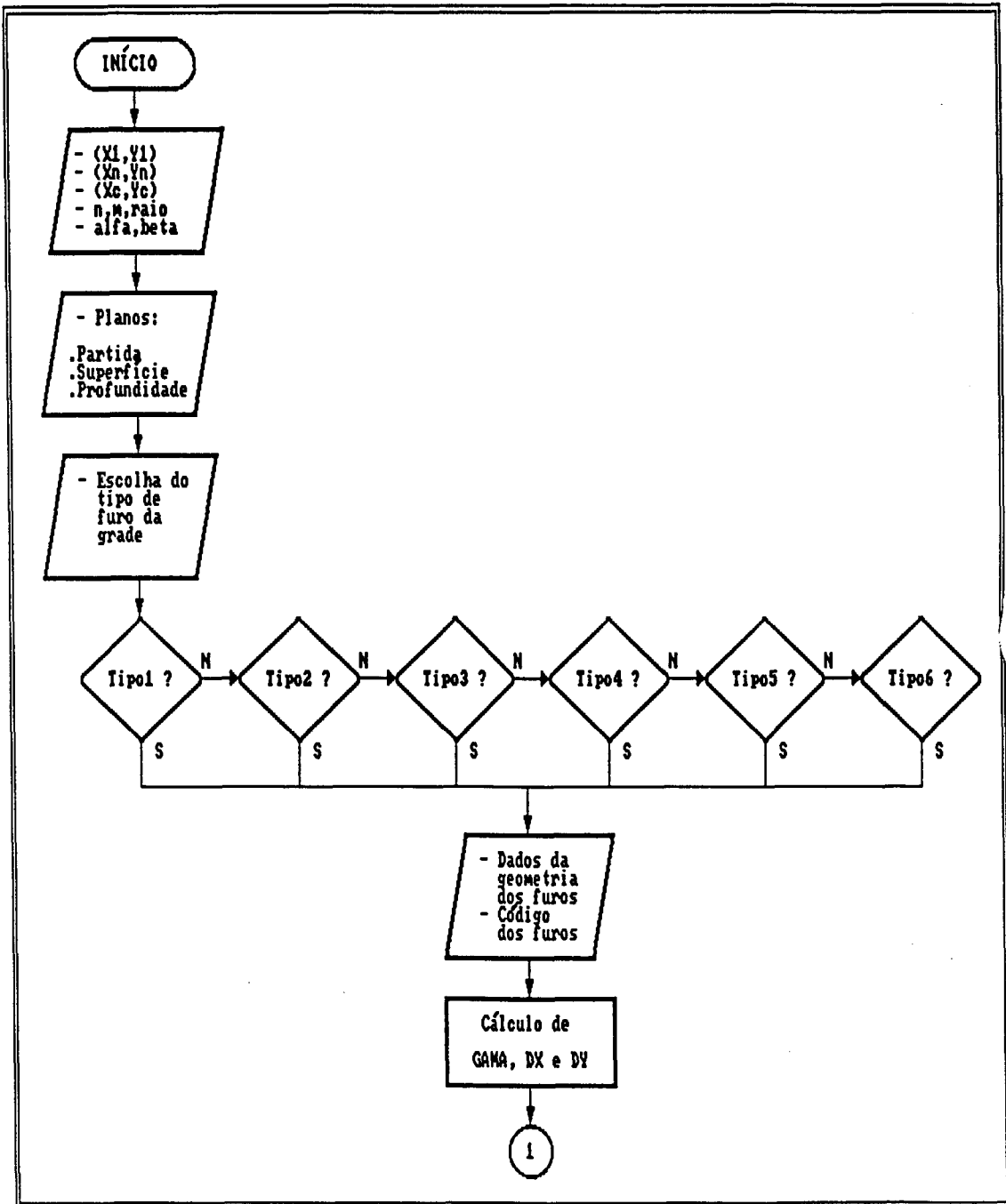


Figura 6.11a- Desenho de um contorno circular de furos: fluxograma de lógica (continua).

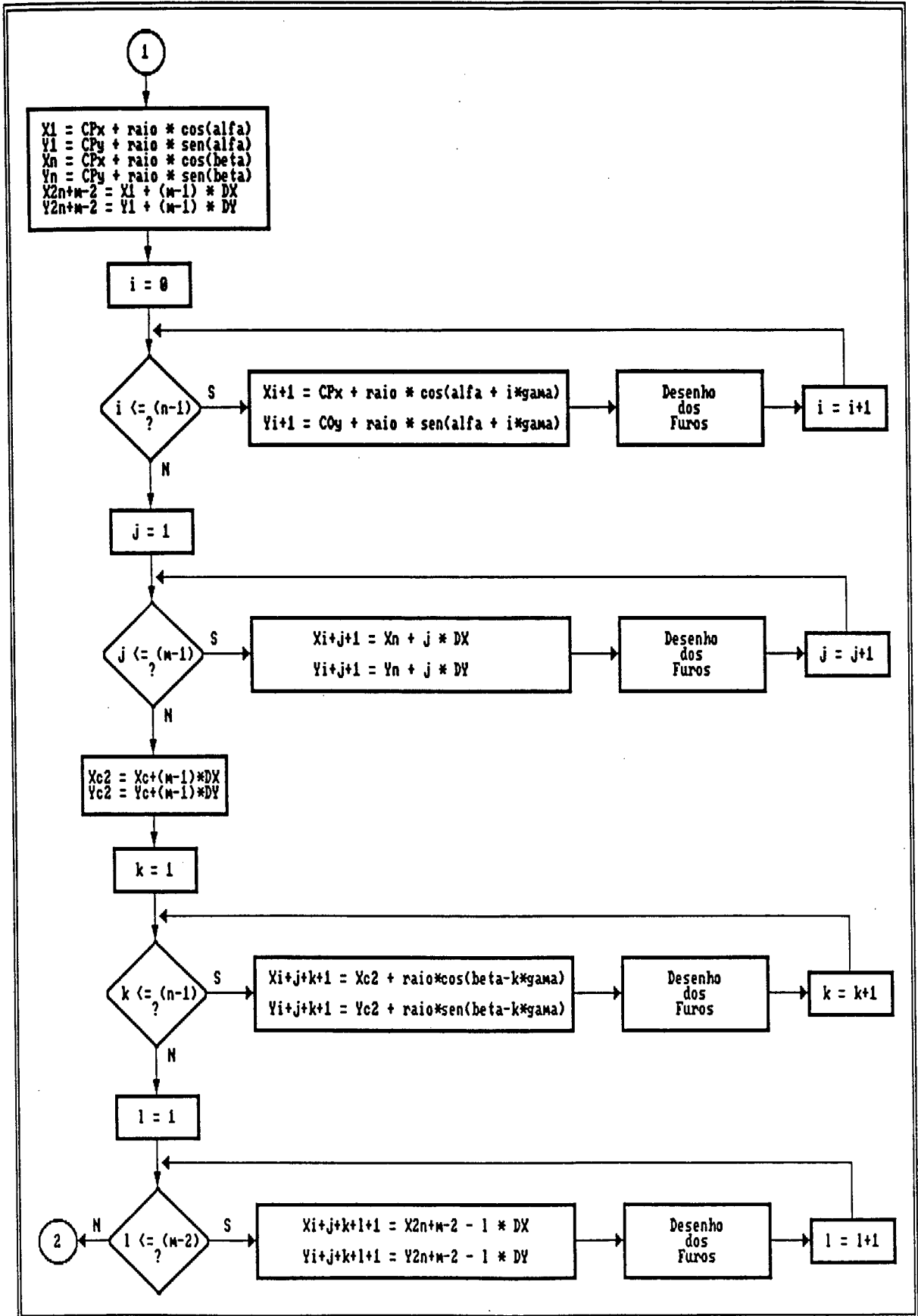


Figura 6.11b- Desenho de um contorno circular de furos: fluxograma de lógica (continuação).

O próximo passo é a definição geométrica dos furos que compõem a grade escolhida. Como fora mencionado, uma grade pode ser composta por furos de seis tipos básicos. Cabe ao programador escolher o tipo de furo que comporá a grade e fornecer, de forma interativa, os dados requisitados, que determinarão a representação gráfica dos furos.

A última informação necessária à geração automática do desenho da grade de referência é o código dos furos que a compõem. Parte-se da premissa que furos pertencentes a uma determinada grade possuem mesmos códigos, sendo portanto idênticos.

De posse de todos estes dados, o programa paramétrico calcula as coordenadas (x,y) (de tela) do centro de todos os furos que compõem a grade e, em cada posição, desenha, automaticamente, um conjunto de entidades geométricas que equivalem a furos do tipo escolhido.

6.3.1.3 As Funções de Manipulação

Uma vez desenhada a grade de referência, o sistema oferece ao programador a possibilidade de executar operações de manipulação sobre esta grade. Um fluxograma de lógica da implementação de funções de manipulação, aplicadas a uma disposição de furos genérica pode ser visto na figura 6.12.

6.3.1.4 Gravação de Dados no Arquivo Gráfico

Os dados resultantes do trabalho no "ambiente CAD-NC" são gravados em arquivo de saída na forma de blocos de informações. Estes blocos, gravados pelo próprio programa

paramétrico específico a cada tipo de grade, têm como função principal organizar de forma adequada tais dados, garantindo que as características fornecidas pelo programador sejam coerentemente armazenadas. Isto facilita a análise e posterior extração de dados quando da interpretação do arquivo IGES. Os principais blocos criados referem-se a:

- parâmetros que definem as grades de furos;
- código e geometria dos furos e localização dos planos de corte locais.

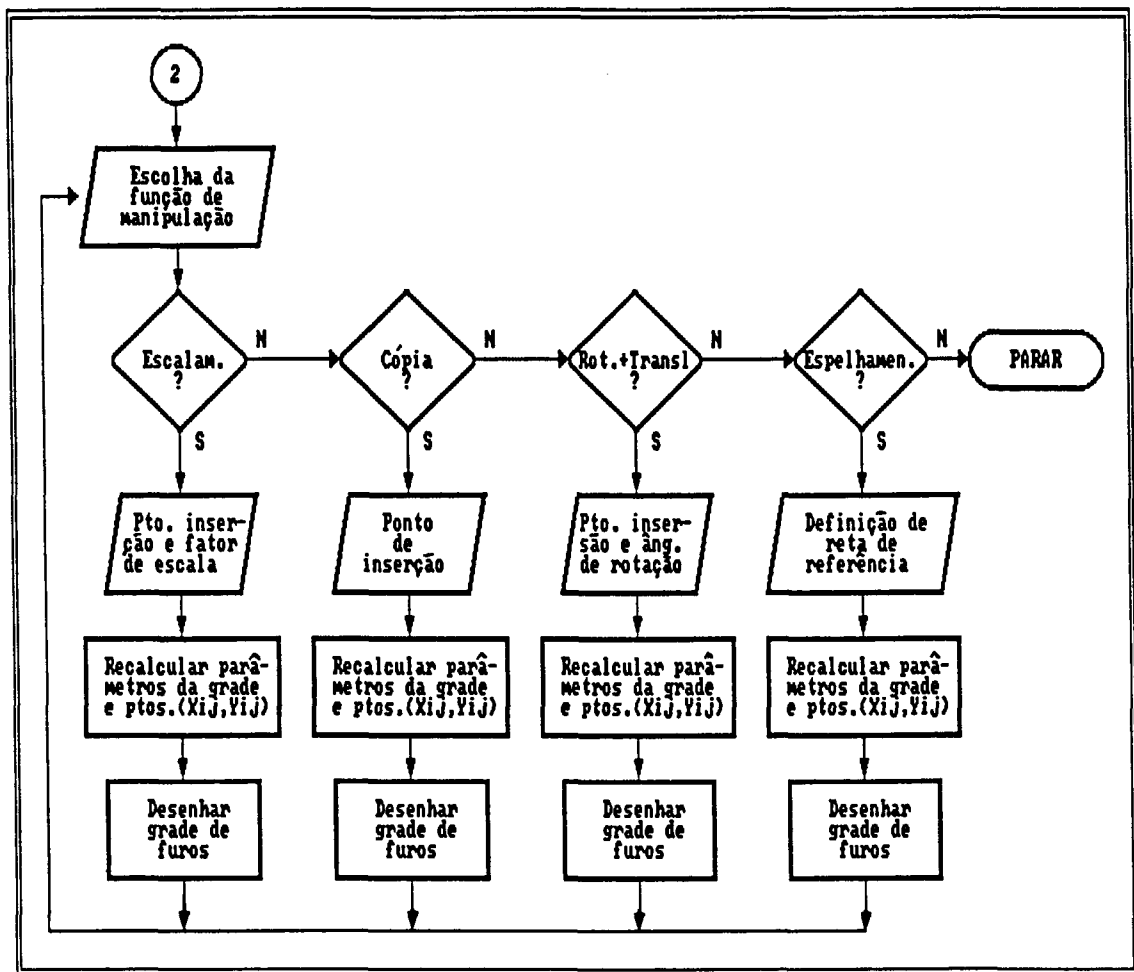


Figura 6.12- Fluxograma de lógica para execução de funções de manipulação.

Também o programa paramétrico que auxilia na definição do ZP grava um bloco, que se constitui das seguintes informações:

- valores de ZEROX, ZEROY e ZEROZ;
- localização do PRG.

6.3.1.5 Acesso aos Programas Paramétricos

O sistema CAD permite que, através de linguagem de sintaxe relativamente simples, sejam criados "menus", com o intuito de agilizar o acesso aos programas paramétricos, tratandos-os como novos comandos.

De forma análoga à proposta por Dalla Rosa [54], criou-se junto ao menu principal do sistema CAD, uma nova opção denominada "MENU-NC". Acionando esta opção, o programador se deparará com um sub-menu que contém todos os programas paramétricos criados. A figura 6.13 ilustra o "ambiente CAD-NC" em sua estrutura de menus.

6.3.1.6 Os "Menus" Gráficos

Os "menus" gráficos têm como principal objetivo orientar o usuário na escolha de suas opções. Cada programa paramétrico específico à determinada grade de furos é acompanhado de um menu gráfico, que pode ser acionado a qualquer momento. Neste menu, o usuário pode visualizar os dados necessários à parametrização de cada grade de furos, dando maior segurança ao seu trabalho. Após a consulta, o "menu" desaparece e o sistema regenera o desenho que está sendo desenvolvido. A figura 6.14 ilustra um menu gráfico

relativo às duas formas de parametrização de grades retangulares de furos. Os outros menus seguem a mesma estrutura.

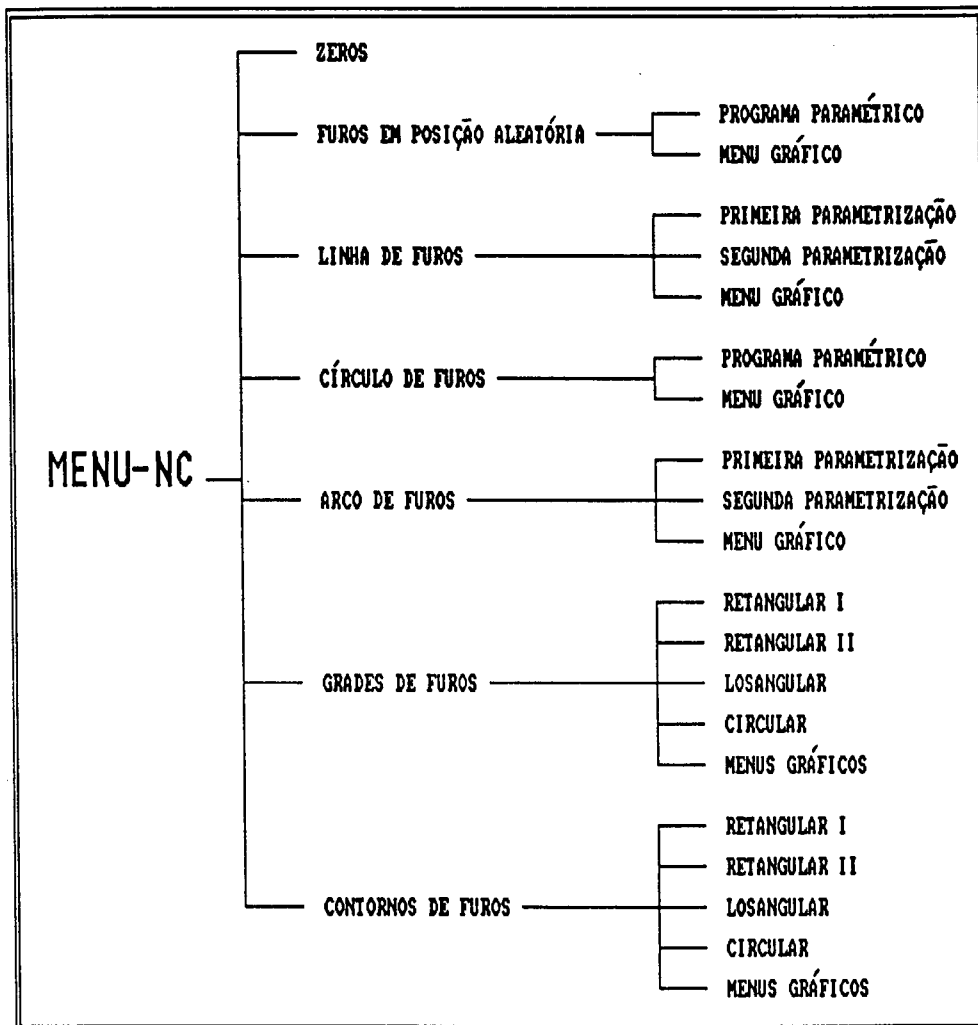


Figura 6.13- Estrutura de menus do "ambiente CAD-NC".

6.3.2 Geração do Arquivo IGES

Uma vez terminado o trabalho de criação do desenho da peça, surge o momento da geração do arquivo gráfico sobre o qual será executada a análise para extração dos dados referentes à furação.

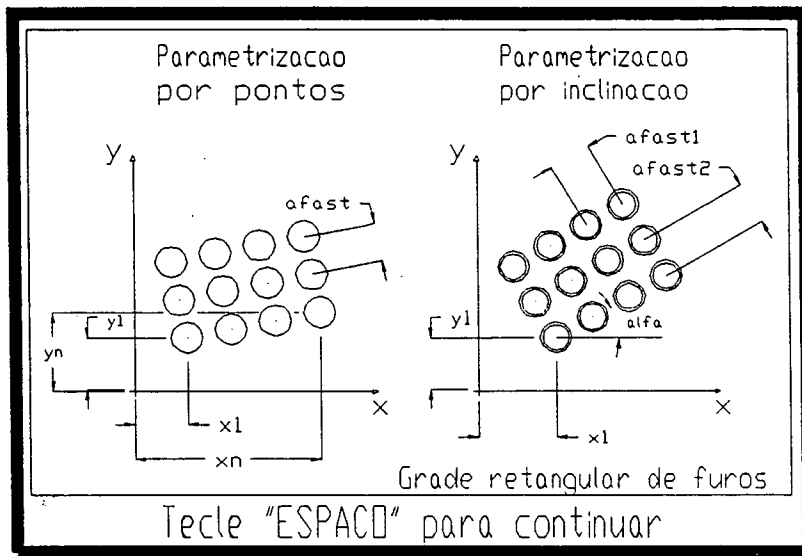


Figura 6.14- Menu gráfico para parametrização de grade retangular de furos.

O arquivo gráfico é gerado pelo próprio sistema CAD, valendo-se de um pré-processador específico ao formato do arquivo desejado. O usuário carrega e executa o comando "IGESOUT" disponível na estrutura original do sistema CAD e a partir daí a geração do arquivo IGES se dá de forma transparente. A figura 6.15 ilustra um fluxograma de sistema para a geração do arquivo IGES.

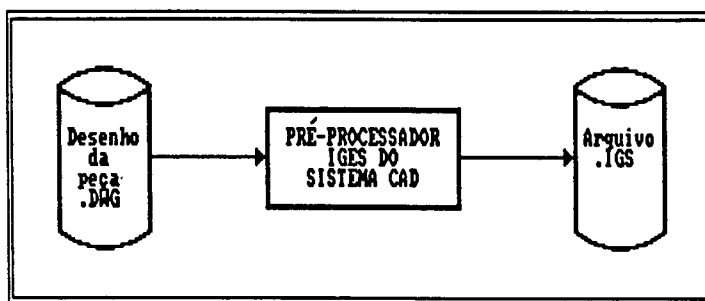


Figura 6.15- Geração do arquivo IGES: fluxograma de sistema.

6.3.3 Análise e Extração dos Dados do Arquivo IGES

A esta altura dispõe-se de um arquivo gráfico apto para ser interpretado por um programa que selecionará as informações necessárias aos módulos seguintes do CAM.

Este programa interpretador, apelidado "GERIGES" (Gerenciador do IGES), foi desenvolvido com o intuito de analisar o arquivo gráfico de saída do CAD, extrair as informações referentes à furação e armazená-las em arquivo intermediário. As figuras 6.16 e 6.17 ilustram respectivamente os fluxogramas de sistema e de lógica do programa interpretador.

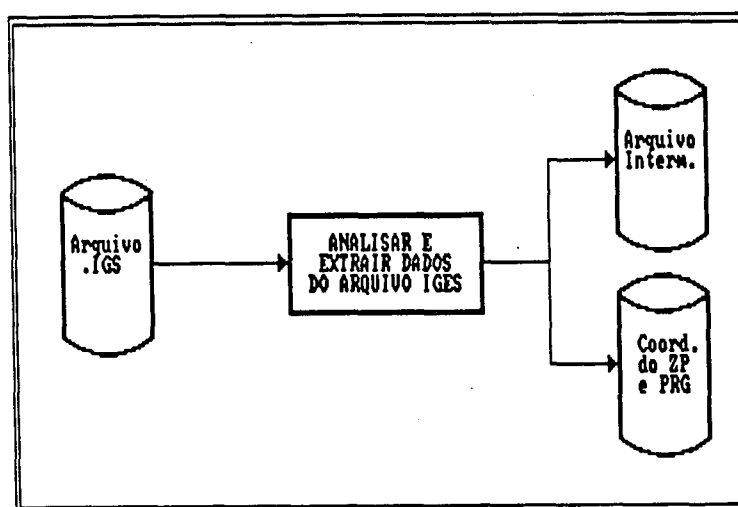


Figura 6.16- Fluxograma de sistema para análise e extração de dados do arquivo IGES.

A alimentação do programa "GERIGES" se dá através do nome do arquivo IGES (extensão .IGS), fornecido pelo usuário. O "GERIGES" realiza, então, uma verificação da existência daquele arquivo .IGS no sub-diretório de trabalho. Se existe, pede ao usuário que forneça o nome a ser dado ao arquivo intermediário (extensão .INT). Nova verificação é feita, esta com objetivo de

alertar o usuário da existência de outro arquivo .INT de mesmo nome. Se o programador deseja deletá-lo, o sistema se incumbe da deleção e cria novo arquivo com aquele nome. Caso contrário, o sistema utilizará o arquivo intermediário já existente no decorrer do processamento.

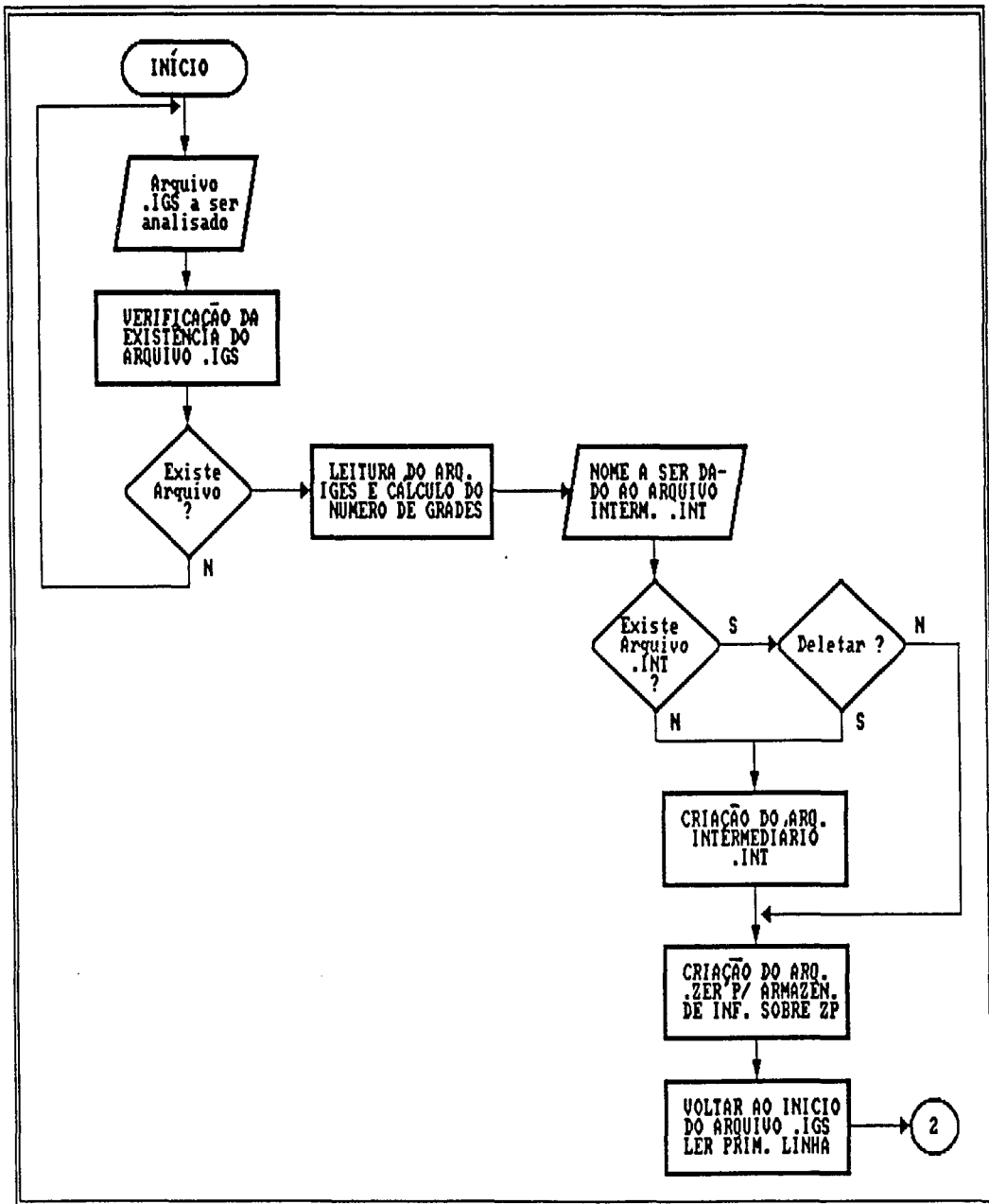


Figura 6.17a- Fluxograma de lógica para análise e extração de dados do arquivo IGES (continua).

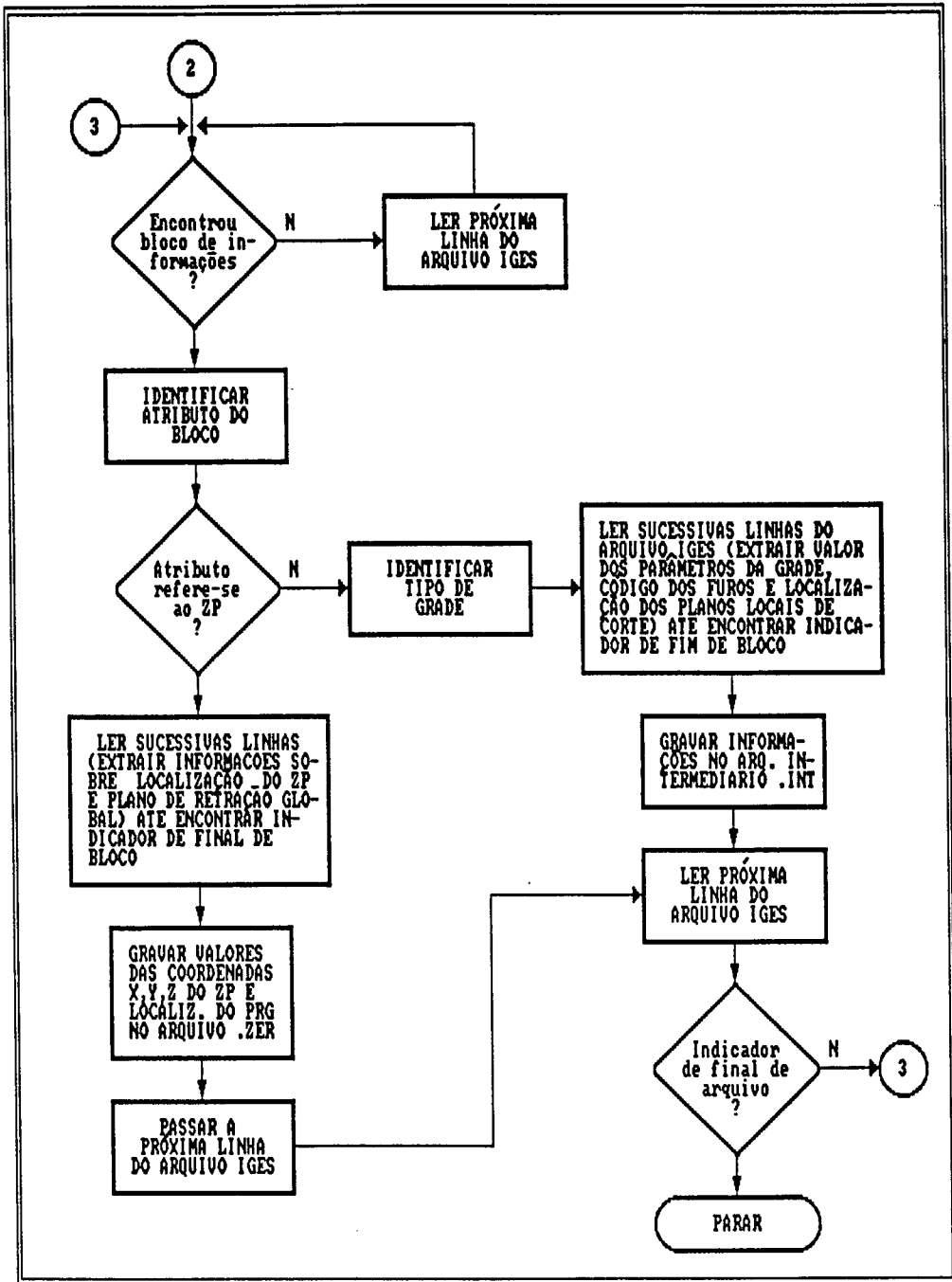


Figura 6.17b- Fluxograma de lógica para análise e extração de dados do arquivo IGES (continuação).

Ao arquivo que armazena as coordenadas do ZP e a localização do Plano de Retração Global, atribui-se o mesmo nome escolhido para o arquivo .INT, apenas alterando-se a extensão para .ZER.

A partir da definição dos arquivos a serem montados, o "GERIGES" inicia a leitura dos registros contidos no IGES, de forma seqüencial, desde o topo até o final. Inicialmente é feita uma leitura de todo o arquivo de modo a conhecer-se o número de entidades "grades de furos" que o mesmo contém. Este dado servirá para dimensionar o arquivo intermediário de dados geométricos. O "GERIGES" retorna ao início do arquivo gráfico e inicia uma leitura seqüencial de cada registro, até encontrar um que seja importante para extração de dados. Se isto ocorre, estes dados são identificados, extraídos e gravados em uma linha do arquivo intermediário de dados geométricos. Este procedimento se repete até a identificação de indicador de final do arquivo IGES.

6.3.4 Preparação de Dados Geométricos ao CAM

O objetivo principal desta etapa é calcular e armazenar, em uma matriz, as coordenadas (x,y) dos centros dos furos existentes no componente a ser programado, já com relação ao ZP. Esta etapa é executada internamente de forma transparente ao usuário. A figura 6.18 mostra o fluxograma de sistemas para esta etapa.

Baseado no fluxograma da figura 6.19, esta etapa, executada pelo programa denominado "PARAMETR" (Parametrizador), inicia-se com a definição dos arquivos .INT e .ZER a serem consultados. São executadas verificações análogas àquelas desenvolvidas pelo "GERIGES".

Inicialmente o "PARAMETR" lê os dados contidos no arquivo .ZER. A partir daí, executa a leitura dos dados contidos

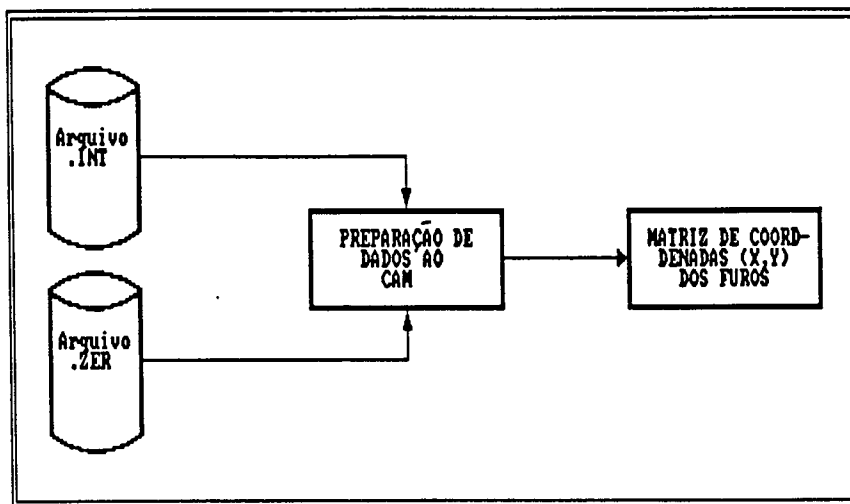


Figura 6.18- Preparação de dados ao CAM: fluxograma de sistema.

em cada linha do arquivo .INT e calcula, de acordo com o tipo de grade, as coordenadas dos furos, já com relação às coordenadas "ZEROX" e "ZEROY" do ZP. Também para cada grade, recalcula os planos locais de corte em relação à "ZEROZ". Após efetuados os cálculos, armazena os dados sobre as grades de furos nas respectivas linhas da matriz de coordenadas. Este procedimento é repetido até o fim do arquivo .INT, que coincide com o término da montagem da matriz.

Uma vez terminado este processamento, o usuário deve executar o programa "PLANPRO-1", para definição do processo de usinagem dos furos. Como saída, além da folha tarefa, o sistema monta um arquivo de dados tecnológicos, de estrutura já conhecida, que será acessado no momento da geração do programa NC. A figura 6.20, ilustra o fluxograma de sistemas para a etapa de execução do "PLANPRO-1".

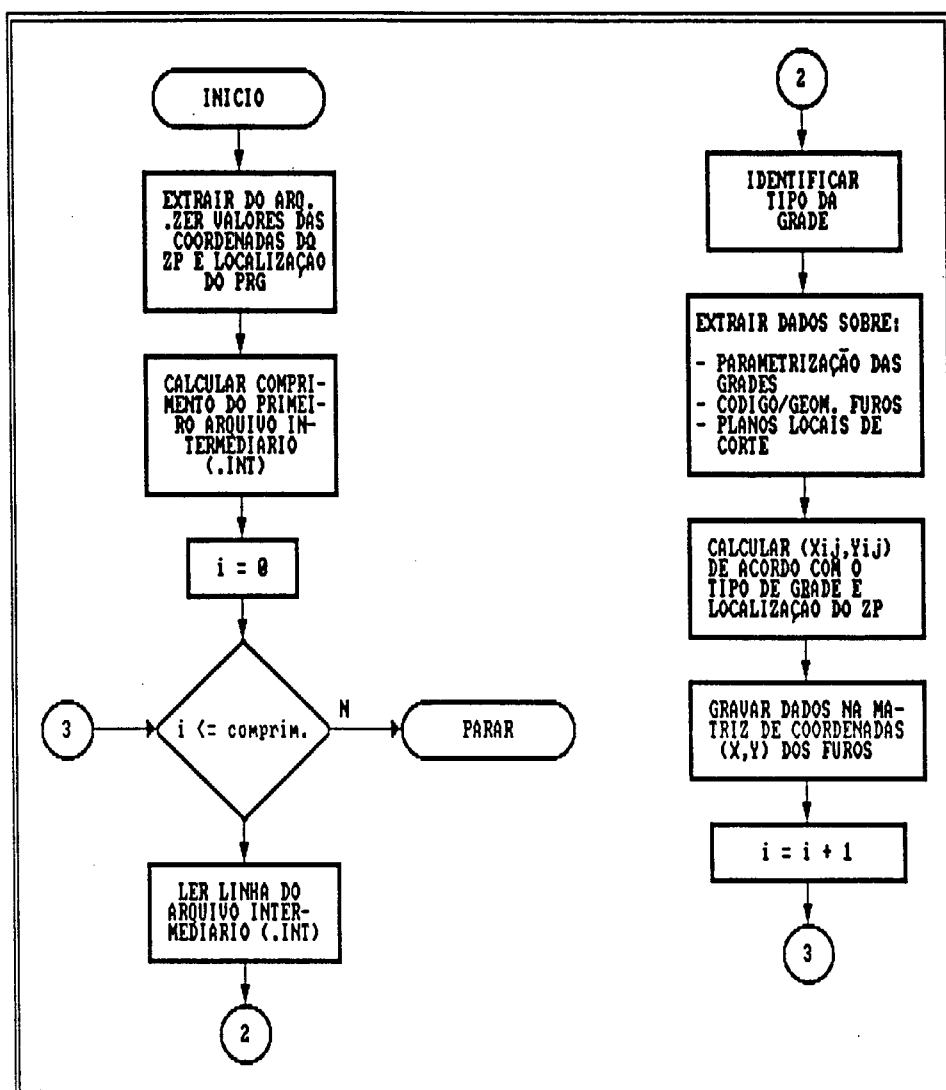


Figura 6.19- Preparação de dados ao CAM: fluxograma de lógica

6.3.5 Geração do Programa NC

O processo de geração dos programas NC se calca basicamente na análise do seqüenciamento das ferramentas envolvidas na usinagem dos furos.

O sistema CAPP desenvolve um "seqüenciamento vertical", ou seja, determina as ferramentas necessárias e a ordem com a qual são utilizadas na usinagem de cada furo, este considerado como elemento unitário. Também determina os parâmetros de corte

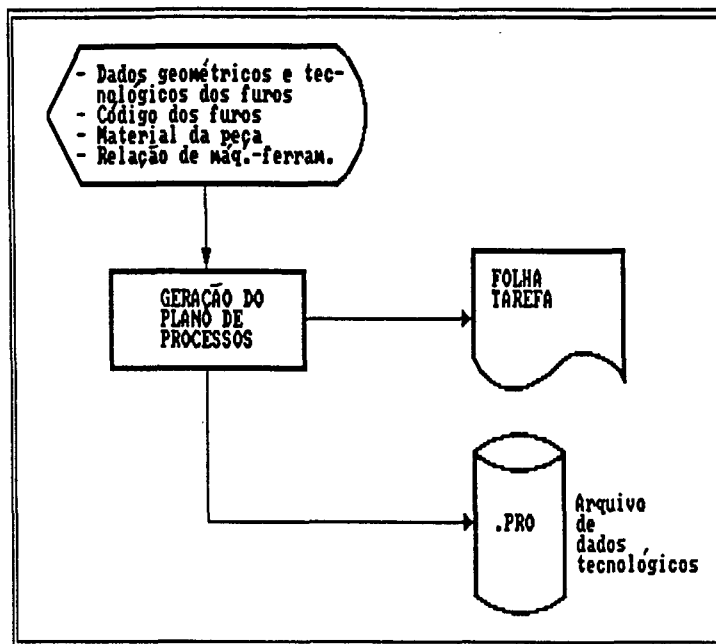


Figura 6.20- Fluxograma de sistema para geração do arquivo intermediário de dados tecnológicos.

utilizados por cada ferramenta, e em cada operação. É necessário desenvolver uma análise do "seqüenciamento horizontal", na medida em que uma peça pode possuir n furos, que compõem m grades. Além disso, estes furos podem ou não exigir as mesmas ferramentas para sua usinagem. Este seqüenciamento é desenvolvido nesta etapa do processamento, em paralelo à geração do programa NC propriamente dito. Objetiva-se a minimização do número de trocas de ferramentas o que acarretará em diminuição acentuada do tempo de máquina.

O programa que se incumbem destas tarefas e gera o código NC, denominado "GERANC" (Gerador de Programa NC), tem seus dados de entrada e saída como ilustra a figura 6.21. Via diálogo, o programador define o modelo de CNC utilizado e fornece informações sobre a máquina-ferramenta. É executada uma verificação da existência do arquivo que armazena os dados relativos à sintaxe das declarações utilizadas pelo modelo de CNC escolhido. Se tal arquivo não está disponível, o usuário é levado a definir a

sintaxe. A partir daí, todo o processo de geração do programa NC se dá automaticamente. O sistema se incumbe de gerar soluções de seqüenciamento e movimentação das ferramentas, sem a participação direta do programador. Ao fim é produzido um arquivo do tipo texto, que armazena os códigos NC gerados. O programa "GERANC" se baseia no fluxograma de lógica mostrado na figura 6.22, que por sua vez é montado a partir do algoritmo detalhado no item 5.3.3.

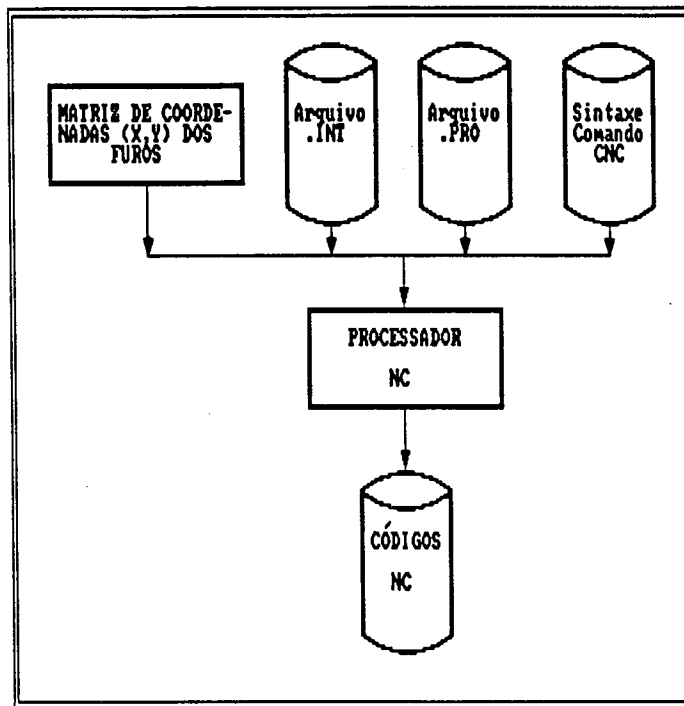


Figura 6.21- Geração do programa NC: fluxograma de sistema.

6.4 OPERAÇÃO DO SISTEMA

Para ilustrar o funcionamento do sistema desenvolvido, será construído agora um exemplo completo, desde a criação do desenho da peça no CAD ("ambiente CAD-NC"), até a geração do programa NC e verificação gráfica do mesmo.

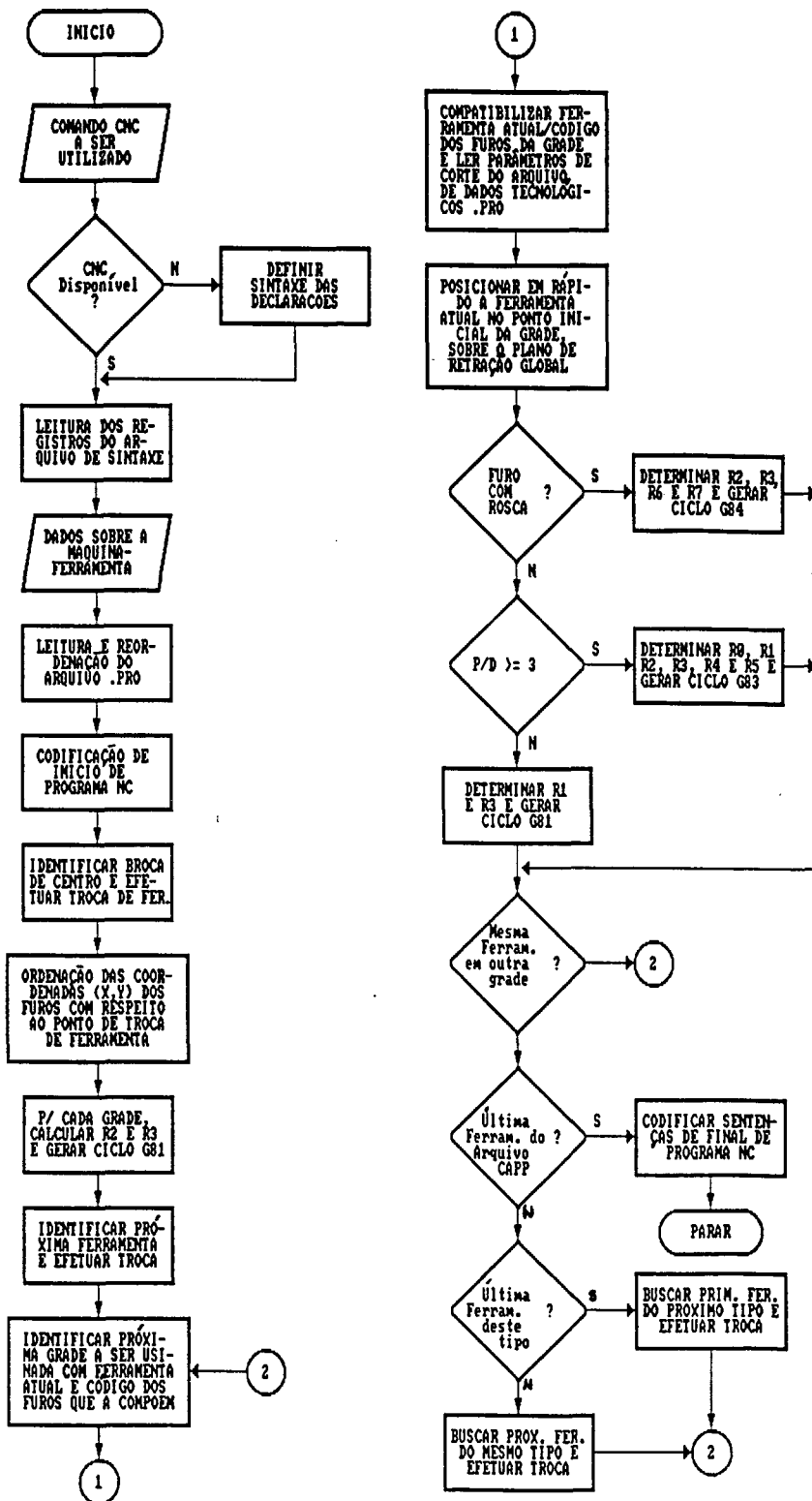


Figura 6.22- Geração do programa NC: fluxograma de lógica.

A peça objetivo deste exemplo é mostrada na figura 6.23. Um exemplo de aplicação mais completo é documentado no apêndice A.

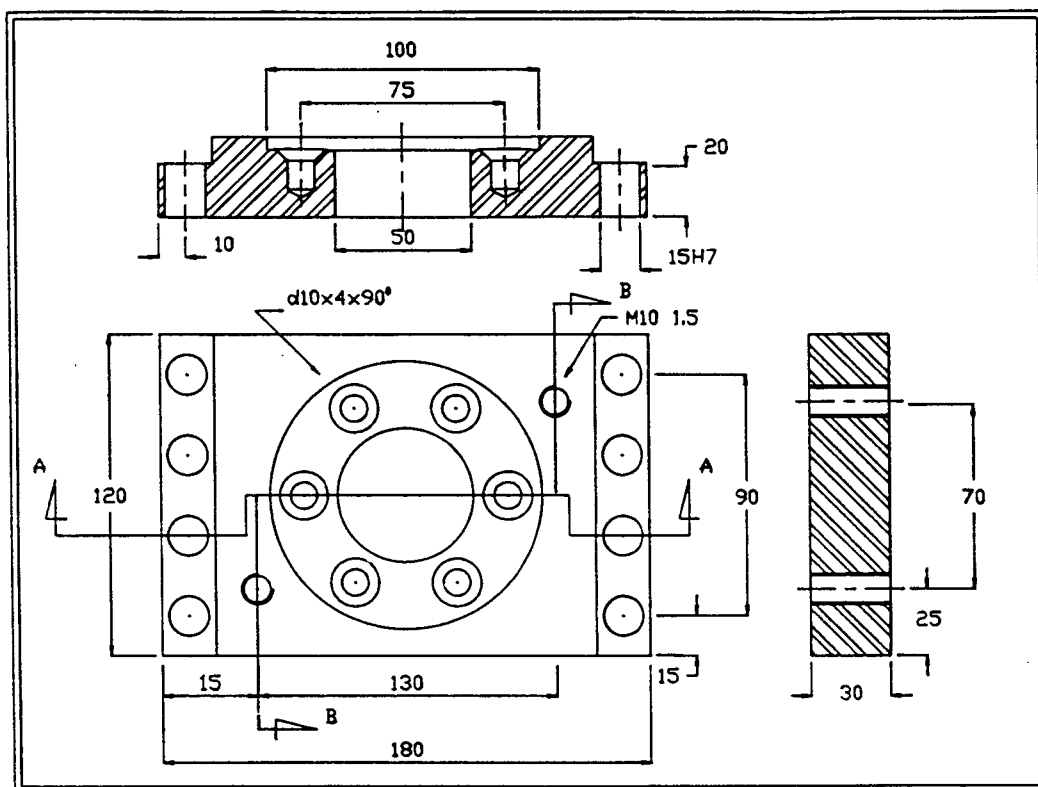


Figura 6.23- A peça exemplo.

Com o intuito de promover maior integração entre os sistemas computacionais envolvidos, foi desenvolvido um programa gerenciador que auxilia o usuário no acesso e execução, tanto dos sistemas CAD e CAPP utilizados, quanto do módulo responsável pela geração dos programas NC. Quando acionado, este programa gerenciador ativa a tela mostrada na figura 6.24.

A primeira fase do processo de geração dos programas NC consiste na criação do desenho da peça. Entretanto, antes de

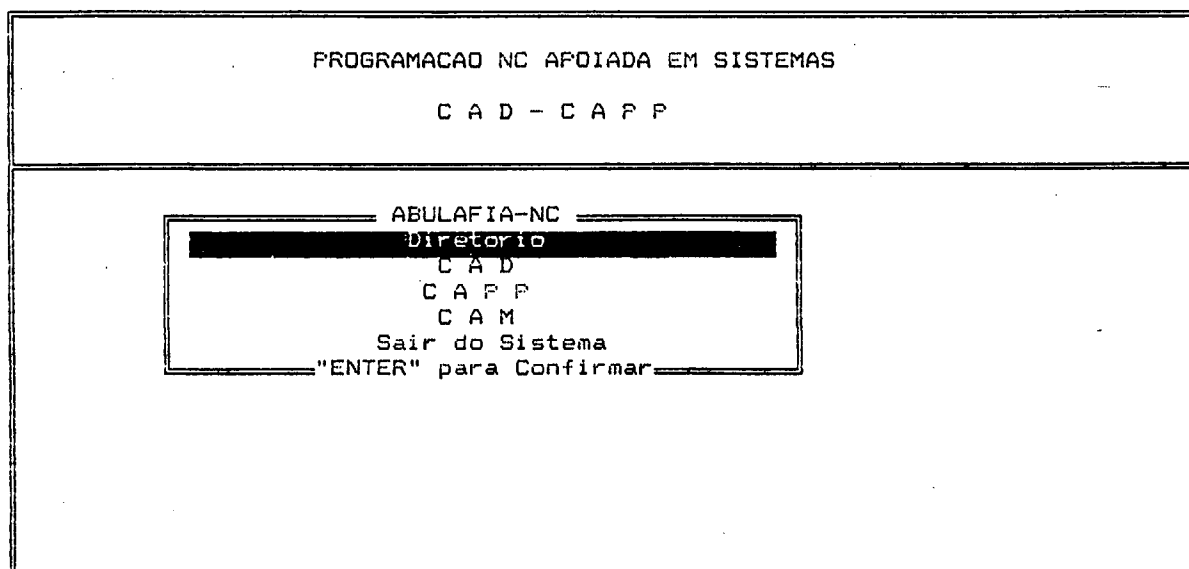


Figura 6.24- Tela principal do programa gerenciador.

iniciar efetivamente esta etapa, o usuário deve informar ao sistema o sub-diretório onde está armazenado o sistema CAD a ser utilizado. Esta informação é fornecida através da opção "DIRETORIO" existente no menu. Uma vez acionada esta opção, o sistema ativa uma janela de entrada de dados (figura 6.25), proporcionando acesso ao CAD de qualquer localização do disco rígido, a partir da rota definida pelo sub-diretório onde este se localiza.

Definida esta rota, o usuário, para acessar o CAD, deve posicionar o cursor na opção "CAD" e acioná-la. O usuário passa, então, a trabalhar no ambiente normal do sistema CAD, dando início à criação do desenho da peça.

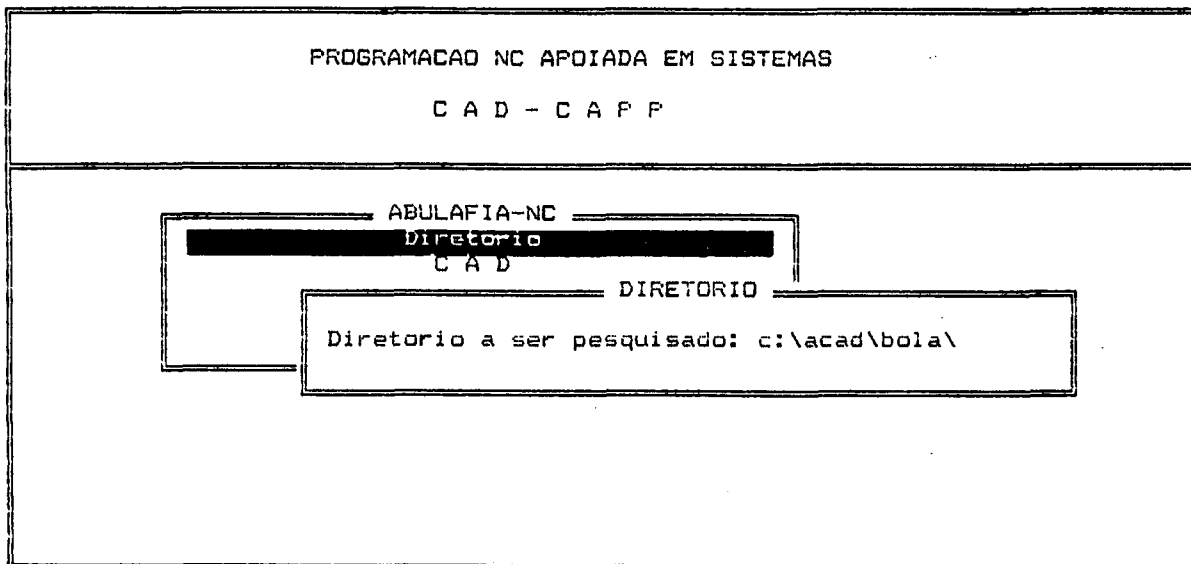


Figura 6.25- Tela para definição de sub-diretório a ser acessado.

6.4.1 A criação do desenho no CAD

Dentro deste ambiente, desenham-se os contornos da peça, bem como suas vistas em corte, com auxílio dos comandos "LINE", "CIRCLE", "HATCH" etc (figura 6.26). Os furos em corte podem ser desenhados com rapidez e consistência utilizando-se comandos disponíveis no "ambiente CAD-E", descrito em [54].

A próxima etapa consiste no desenho das grades de furos em vista superior. Para tanto, o usuário deve apontar o cursor para a opção "MENU-NC", disponível no menu principal do sistema CAD, e acioná-la (figura 6.26). Isto possibilita a entrada no "ambiente CAD-NC", tendo seu menu típico mostrado na figura 6.27.

A figura 6.23 mostra que a peça exemplo é composta de três diferentes tipos de disposições de furos:

- duas disposições idênticas em forma de linha, compostas por furos cilíndricos;
- uma disposição em forma de círculo (furos escariados);
- dois furos em posição aleatória (furos com rosca).

Iniciando-se a construção do desenho das grades de furos pelas disposições em forma de linha, o usuário deve apontar o cursor para a opção "LINHA", disponível no menu principal do "ambiente CAD-NC", e confirmá-la com "ENTER". O sistema aciona um sub-menu referente às duas opções em termos de parametrização de linhas de furos, para que o usuário escolha a que melhor lhe convier (figura 6.28). Ainda neste sub-menu existe a opção de acionamento do menu gráfico relativo à disposição de furos em linha. Neste caso, optou-se pela parametrização através de dois pontos e o comando criado para este tipo de parametrização pode

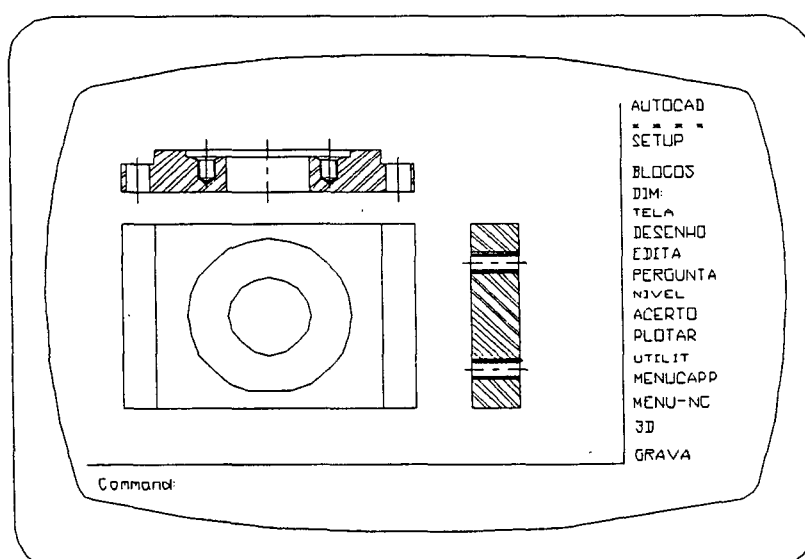


Figura 6.26- Desenho dos cortes da peça exemplo.

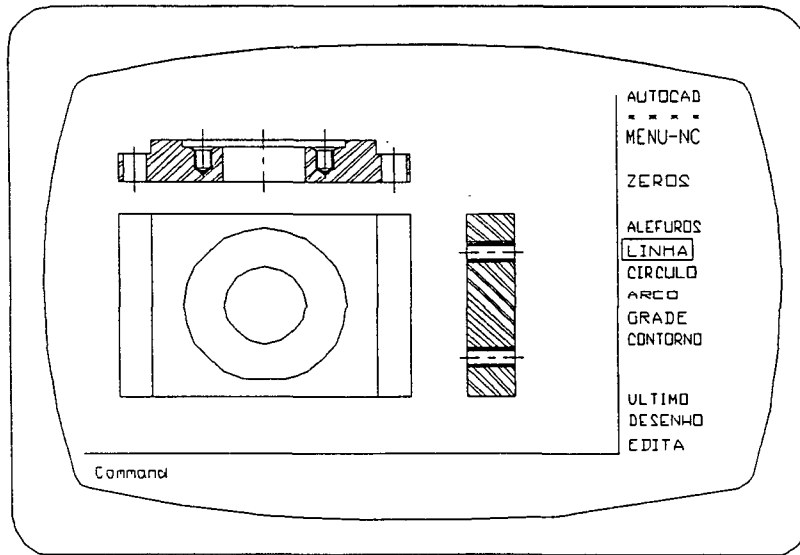


Figura 6.27- Menu principal do "ambiente CAD-NC".

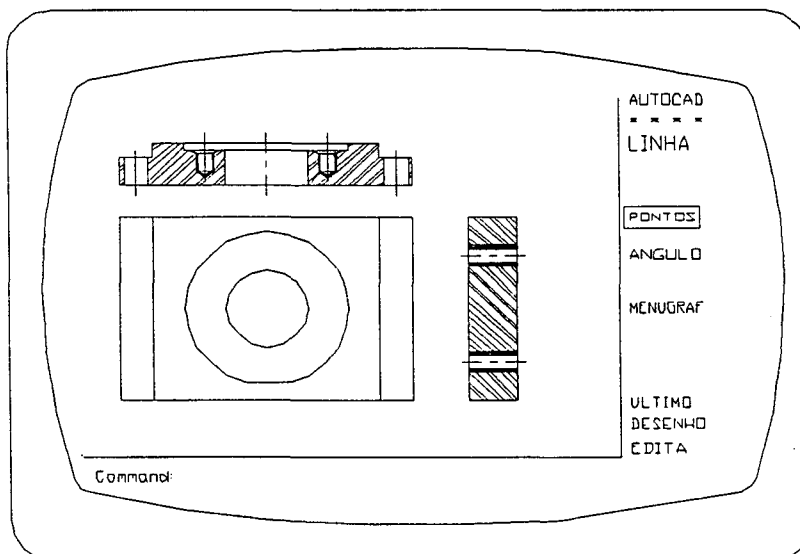


Figura 6.28- Sub-menu "LINHA" do "ambiente CAD-NC".

ser ativado posicionando-se o cursor na opção "PONTOS" e confirmando-a com "ENTER". O programa paramétrico é ativado e inicia-se um diálogo com o operador, no qual este deve primeiramente informar os dados necessários à parametrização da

grade de furos e localização dos planos de corte locais. No caso em questão, estas informações compreendem:

- * Numero de furos: 4
- * Coordenadas do ponto inicial da linha: (40,45)
- * Coordenadas do ponto final da linha: (40,135)
- * Plano de partida: 25 mm
- * Plano da superfície dos furos: 20 mm

Uma vez definidos os dados que parametrizam a grade, parte-se para a definição do código e da geometria dos furos que a compõe. Neste ponto, o programa paramétrico oferece um menu, na parte inferior da tela, com base no qual o operador pode escolher o tipo de furo que comporá a disposição linear (figura 6.29). No caso em questão, escolhendo-se a opção "Cilind" deste menu, o comando orienta diálogo, que compreende as seguintes informações:

- * Diâmetro dos furos: 15 mm
- * Profundidade dos furos: 20 mm
- * Se é passante ou não: (SIM)
- * Código dos furos: "1"

De posse desses dados, o programa paramétrico executa uma verificação de interferência entre os diâmetros dos furos da grade, antes de desenhá-los. Se existe interferência, o programa oferece mensagem de erro e pede ao usuário que confirme ou não estes dados. No caso de confirmação, os furos são automaticamente desenhados nas posições calculadas pelo programa. Em caso contrário, o programa retorna ao início, para que o operador forneça novos valores para os parâmetros. São executadas tantas verificações quantas necessárias, até o desenho automático dos

furos. Todas as informações fornecidas são armazenadas por meio de blocos para posterior extração. Ao final desta operação, o desenho da peça tem seu aspecto como mostra a figura 6.30.

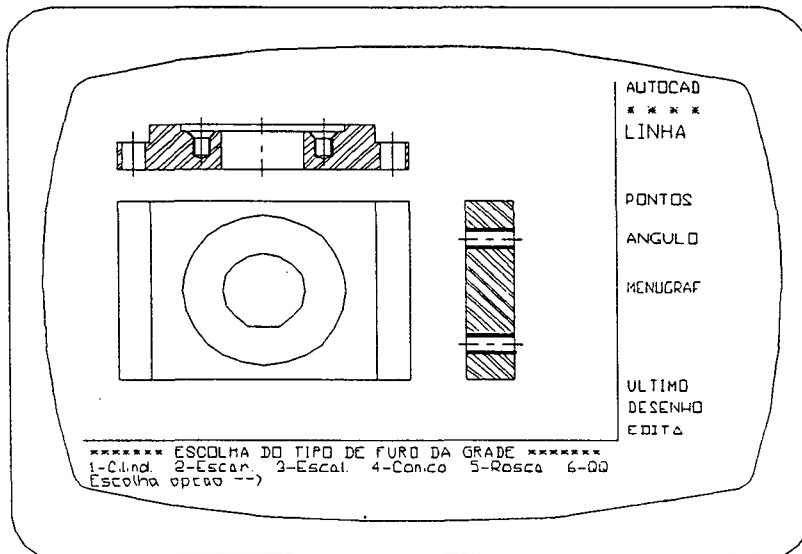


Figura 6.29- Menu de rodapé para escolha do tipo de furo a-bordado.

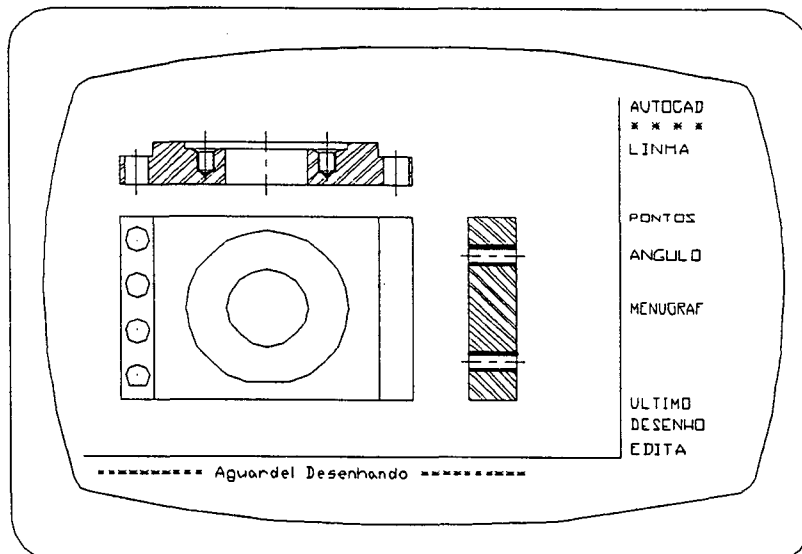


Figura 6.30- Aspecto da tela após desenho de primeira disposição linear de furos.

No caso da peça exemplo, existe uma outra disposição de furos idêntica à anterior, variando apenas sua localização. Para estas situações, ao término da geração do desenho da grade de referência, o programa oferece ao operador um menu, ainda na parte inferior da tela, que contém as opções de funções de manipulação (figura 6.31). Neste caso específico, a segunda grade de furos poderia ser desenhada com auxílio de qualquer uma das funções disponíveis, dependendo dos valores atribuídos a seus dados de entrada. Optou-se, para efeito de demonstração, pelo uso da função espelhamento. O operador escolhe esta função, a partir do menu mostrado na figura 6.31, digitando o número "4" e confirmando com "ENTER". Devem ser fornecidos os seguintes dados:

- * Ponto inicial da reta de referência: (120,80)
- * Ponto final da reta de referência: (120,100)

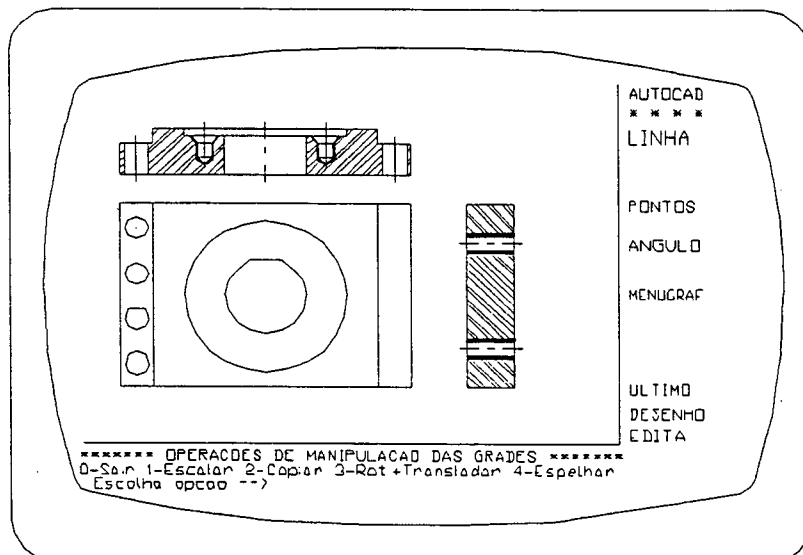


Figura 6.31- Menu de rodapé para escolha de funções de manipulação.

Ao final, o programa desenha a reta de referência, para efeito de visualização por parte do operador e recalcula as coordenadas dos centros dos furos da nova grade. Em cada coordenada calculada, o programa desenha um grupo de entidades gráficas que caracterizam um furo do tipo escolhido, grava as informações referentes à nova grade na forma de um novo bloco de informações e apaga a representação gráfica da reta de referência. Ao final deste processamento, o programa volta ao menu anterior (figura 6.31) e não havendo necessidade de nenhuma outra manipulação, o operador deve escolher a opção "0" (sair), para finalizar a execução do comando. O programa, então, executa o comando "REDRAW" sobre o desenho que está sendo desenvolvido, eliminando quaisquer marcas indesejáveis. A tela, ao final desta operação, tem o aspecto mostrado na figura 6.32.

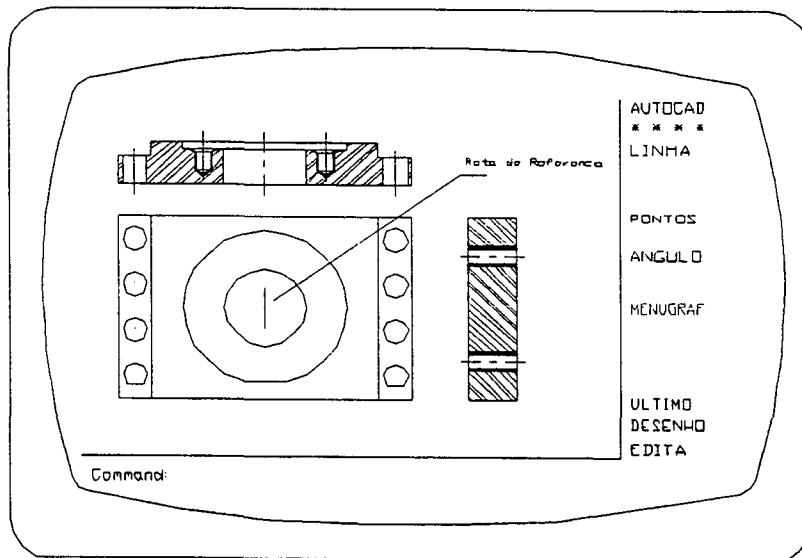


Figura 6.32- Aspecto da tela após desenho da segunda disposi-
linear de furos.

Parte-se agora para o desenho da disposição de furos em círculo. De forma análoga ao processo de criação do desenho da grade anterior, o operador volta ao menu principal do "ambiente CAD-NC" e seleciona a opção "CÍRCULO" (vide figura 6.27). Como no caso da linha de furos, é acionado um sub-menu que contém opções de execução do programa paramétrico referente à disposição de furos em círculo ou acionamento do menu gráfico para orientação do operador com relação aos dados que serão necessários à sua parametrização (figura 6.33). No caso do círculo de furos que compõe a peça exemplo, os dados fornecidos ao programa são os seguintes:

- * Número de furos do círculo: 6
- * Coordenadas do ponto central do círculo: (120,90)
- * Raio do círculo: 37.5 mm
- * Ângulo do ponto inicial do círculo com a horizontal: 180°
- * Plano de partida: 30 mm
- * Plano da superfície dos furos: 25 mm

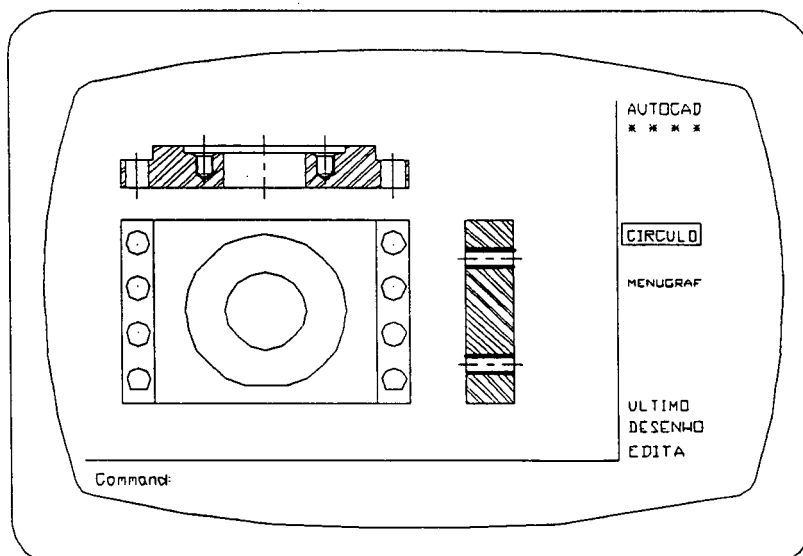


Figura 6.33- Sub-menu "CÍRCULO" do "ambiente CAD-NC".

Neste caso, o círculo de furos é formado por furos escariados. O operador, a partir do menu mostrado na figura 6.29, escolhe a opção "2" ("Escar.") e fornece os seguintes dados:

- * Diâmetro dos furos: 10 mm
- * Inclinação dos escariados (60/90/120): 90⁰
- * Altura dos escariados: 4 mm
- * Profundidade dos furos: 15 mm
- * Se é passante ou não: (NÃO)
- * Código dos furos: "2"

De posse desses dados, o programa realiza verificações de interferência análogas ao caso anterior, desenha automaticamente os furos nas posições calculadas e grava estas informações em bloco. Não havendo necessidade de aplicação de funções de manipulação, o operador deve escolher a opção "0" ("Sair") do menu mostrado na figura 6.31 para finalizar esta etapa e novo redesenho é executado. A figura 6.34 mostra o aspecto do desenho da peça ao final desta operação.

Com relação às grades de furos, resta desenvolver a criação do desenho dos furos em posição aleatória. Para isso, o operador deve voltar ao menu principal do "ambiente CAD-NC", apontar o cursor para a opção "ALEFUROS" e confirmá-la com "ENTER" (figura 6.35). O sistema, então, inicia a execução do devido programa paramétrico, como nos casos anteriores. Como será visto, o programa que cria desenhos de furos em posição aleatória tem estrutura relativamente distinta dos programas dedicados às outras disposições de furos. Neste caso o operador deve primeiramente fornecer os seguintes dados:

- * Número de furos: 2

* Plano de partida: 35 mm

* Plano da superfície dos furos: 30 mm

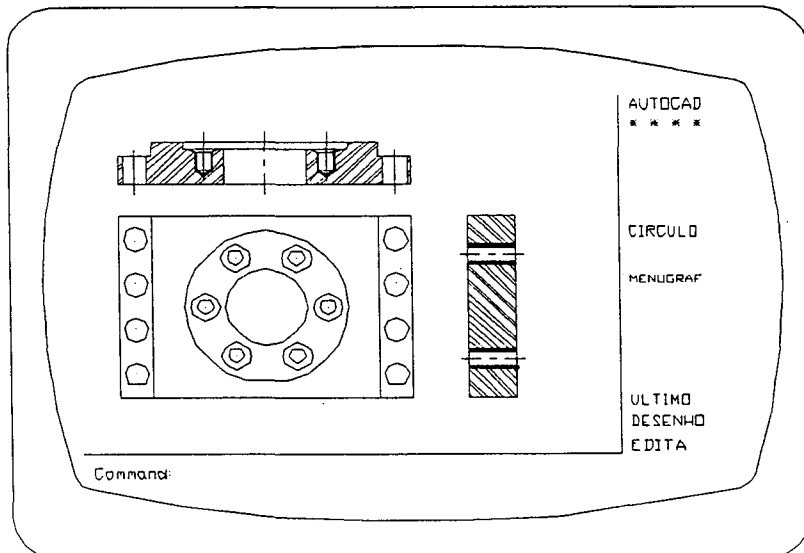


Figura 6.34- Aspecto da tela após desenho desenho da disposição de furos em círculo.

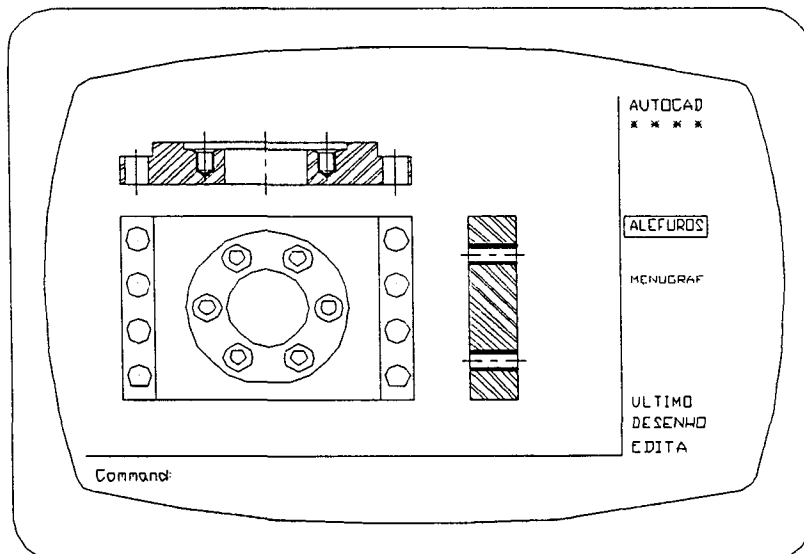


Figura 6.35- Sub-menu "ALEFUROS" do "ambiente CAD-NC".

Após esta interação e ainda da mesma forma como nos outros comandos, o programa orienta diálogo no sentido de definir-se o tipo de furo a ser desenhado (opção "5" do menu mostrado na figura 6.29), bem como seu código e geometria. Neste caso são os seguintes os dados a serem definidos, acerca dos furos:

- * Diâmetro da rosca: 10 mm (M10)
- * Passo da Rosca: 1.5 mm
- * Profundidade da rosca: 30 mm
- * Profundidade final do(s) furo(s): 30 mm
- * Se é passante ou não: (SIM)
- * Código dos furos: "3"

A partir deste ponto do processamento, surgem as diferenças com relação aos outros programas paramétricos. Ao invés do cálculo automático das posições dos furos da grade, este programa solicita que o operador determine a posição exata de cada furo a ser desenhado, levando-se em consideração o número de furos. Em cada posição definida pelo operador, é desenhado um furo do tipo escolhido, de acordo com sua definição geométrica. Neste caso, as coordenadas (x,y) dos furos são:

- * Primeiro furo: (175,125)
- * Segundo furo: (45,55)

No caso de furos em posição aleatória, não são oferecidas funções de manipulação e, ao final da criação do desenho dos furos, o programa executa novo redesenho. A tela, ao final desta etapa, tem o aspecto mostrado na figura 6.36. A partir daí, o usuário pode executar a cotagem do componente, para obtenção do desenho em seu aspecto final.

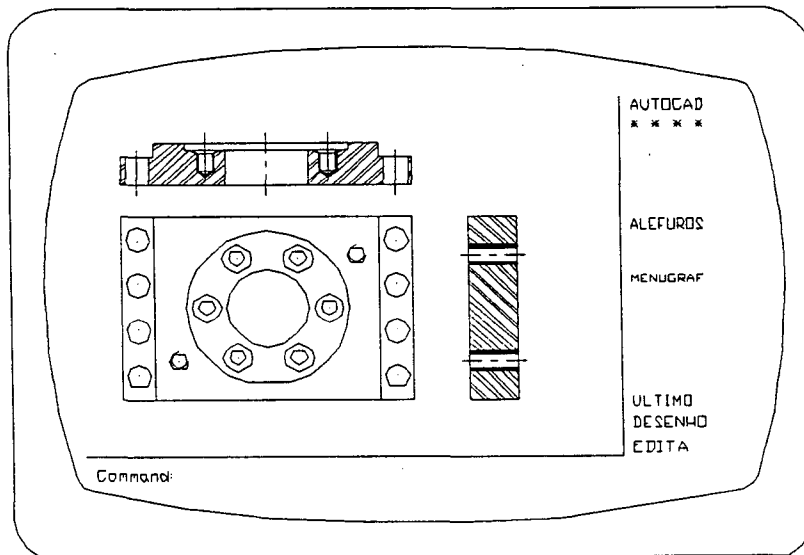


Figura 6.36- Aspecto da tela após desenho dos furos em posição aleatória.

Como último passo do processo de criação do desenho do componente a ser planejado e programado, o operador deve proceder e definição do Zero-Peça (ZP) e localização do Plano de Retração Global (PRG). Para tanto, voltando ao menu principal do "ambiente CAD-NC", o operador deve apontar o cursor para a opção "ZEROS" e confirmá-la com "ENTER". Será então executado um programa paramétrico que requisitará, neste caso, as seguintes informações:

- * Coordenada x do Zero-Peça: 30 mm
- * Coordenada y do Zero-Peça: 30 mm
- * Coordenada z do Zero-Peça: 0 mm
- * Localização do Plano de Retração Global: 40 mm

Novamente estas informações são organizadas e armazenadas na forma de bloco.

Com este passo, encerra-se o processo de criação do desenho dos furos que compõem a peça exemplo. O operador agora

pode desenvolver a cotação do componente, valendo-se dos recursos originais de sistema CAD, e proceder a geração do arquivo gráfico no formato IGES, a partir do qual se dará todo o processamento restante. Este arquivo é criado através da execução do comando "IGESOUT", disponível na estrutura original do sistema CAD. Para este exemplo, o arquivo IGES possui cerca de 160 Kbytes, inviabilizando sua anexação ao trabalho. Uma vez executado este comando, o operador pode abandonar o ambiente do CAD, retornando ao programa gerenciador para execução da próxima etapa do processo.

6.4.2 Criação do plano de processo

Retornando ao ambiente do programa gerenciador, o usuário deve apontar o cursor para a opção "CAPP" disponível no menu, e confirmá-la com "ENTER". Neste caso, devido a aspectos operacionais intrínsecos ao "PLANPRO-1", não há necessidade de definir o sub-diretório onde está armazenado, tendo em vista que o mesmo trabalha sempre alocado em acionadores de discos flexíveis.

Uma vez no ambiente do "PLANPRO-1", este requisita as informações necessárias à geração do plano de processo e posterior montagem do arquivo intermediário de dados tecnológicos. Além das informações relativas aos furos que serão processados, o "PLANPRO-1" solicita do usuário decisões sobre:

- * Definição do material da peça;
- * Escolha da máquina-ferramenta a ser utilizada;
- * Dados relativos à fixação e manipulação da peça para cálculo de tempos.

De posse desses dados, o "PLANPRO-1" procede a escolha das ferramentas a serem empregadas na usinagem do componente, a partir de consulta a seu banco de dados, e calcula os parâmetros de corte para cada ferramenta utilizada. Estes dados compõem o arquivo de dados tecnológicos que será acessado pelo CAM, para geração do programa NC. A figura 6.37 mostra o resultado final do trabalho no ambiente do "PLANPRO-1", com respeito às ferramentas utilizadas e valores calculados para os parâmetros de corte.

Uma descrição mais completa dos aspectos operacionais do sistema "PLANPRO-1" foge, no entanto, ao escopo do trabalho. Maiores detalhes podem ser vistos em [133].

6.4.3 Geração do Programa NC

Abandonando o ambiente do sistema CAPP utilizado, o usuário pode iniciar, voltando ao programa gerenciador, o procedimento para geração dos códigos NC. Para tanto, inicialmente deve ser determinado, da mesma forma como fora no momento do acesso ao sistema CAD, o diretório onde está armazenado o módulo responsável por esta tarefa, denominado "PROCESSA". Isto feito, o usuário aciona o programa "PROCESSA" posicionando o cursor na opção "CAM" do menu e confirmando-a com "ENTER". O sistema, então ativa a tela mostrada na figura 6.38.

O processo de geração do programa NC se inicia com a escolha do arquivo IGES a ser analisado. Esta escolha se faz mediante definição do diretório onde estão armazenados estes arquivos, posicionamento do cursor na opção "ARQUIVOS" e

CÓDIGO DO FURO = 1

FERRAMENTAS	CODIGO	DIAM	f	Vf	Vc	N
Br.Centro						
Broca	1234	15.0	0.2 mm/rot	160.00 m/min	35.6 m/min	800.0 RpM
Alargador	1989	15.0	0.6 mm/rot	453.50 m/min	17.8 m/min	755.8 RpM

CODIGO DO FURO = 2

FERRAMENTAS	CODIGO	DIAM	f	Vf	Vc	N
Br.Centro						
Broca	1581	10.0	0.2 mm/rot	320.00 m/min	35.8 m/min	1600.0 RpM
Escariador	7774	15.0	0.6 mm/rot	684.22 m/min	17.9 m/min	1140.4 RpM

CÓDIGO DO FURO = 3

FERRAMENTAS	CODIGO	DIAM	f	Vf	Vc	N
Br.Centro						
Broca	1444	8.5	0.2 mm/rot	320.00 m/min	35.9 m/min	1600.0 RpM

Figura 6.37- Dados tecnológicos gerados pelo "PLANPRO-1".

confirmação com "ENTER". O sistema ativa uma janela para entrada de dados referentes ao nome do arquivo IGES a ser analisado e ao nome a ser dado ao arquivo intermediário de dados geométricos (figura 6.39). Como dito no capítulo anterior, são executadas verificações com relação à existência do arquivo .IGS escolhido pelo operador para análise. No caso da não existência do arquivo IGES, o sistema ativa janela de mensagem. De forma análoga, são feitas verificações de existência de arquivos .INT e nova janela de mensagem é ativada. No caso do exemplo desenvolvido, o arquivo intermediário possui 2670 bytes.

PROGRAMACAO NC APOIADA EM SISTEMAS C A D - C A P P	
<table border="1" style="margin: auto; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center; padding: 5px;"> PROCESSADOR NC Diretorio Arquivos Comando CNC Dados sobre a maquina-ferramenta Geracao do Codigo NC Verificacao Grafica Sair do Sistema "ENTER" para Confirmar </td> </tr> </table>	PROCESSADOR NC Diretorio Arquivos Comando CNC Dados sobre a maquina-ferramenta Geracao do Codigo NC Verificacao Grafica Sair do Sistema "ENTER" para Confirmar
PROCESSADOR NC Diretorio Arquivos Comando CNC Dados sobre a maquina-ferramenta Geracao do Codigo NC Verificacao Grafica Sair do Sistema "ENTER" para Confirmar	

Figura 6.38- Tela principal do "PROCESSA".

PROGRAMACAO NC APOIADA EM SISTEMAS C A D - C A P P			
<table border="1" style="margin: auto; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center; padding: 5px;"> PROCESSADOR NC Diretorio Arquivos </td> </tr> <tr> <td style="text-align: center; padding: 5px;"> <table border="1" style="margin: auto; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center; padding: 5px;"> ARQUIVOS Dado Arquivo IGES a Ser Analisado: apendice (sem extensao) Nome a Ser Dado ao Programa NC: apendice (sem extensao) </td> </tr> </table> </td> </tr> </table>	PROCESSADOR NC Diretorio Arquivos	<table border="1" style="margin: auto; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center; padding: 5px;"> ARQUIVOS Dado Arquivo IGES a Ser Analisado: apendice (sem extensao) Nome a Ser Dado ao Programa NC: apendice (sem extensao) </td> </tr> </table>	ARQUIVOS Dado Arquivo IGES a Ser Analisado: apendice (sem extensao) Nome a Ser Dado ao Programa NC: apendice (sem extensao)
PROCESSADOR NC Diretorio Arquivos			
<table border="1" style="margin: auto; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center; padding: 5px;"> ARQUIVOS Dado Arquivo IGES a Ser Analisado: apendice (sem extensao) Nome a Ser Dado ao Programa NC: apendice (sem extensao) </td> </tr> </table>	ARQUIVOS Dado Arquivo IGES a Ser Analisado: apendice (sem extensao) Nome a Ser Dado ao Programa NC: apendice (sem extensao)		
ARQUIVOS Dado Arquivo IGES a Ser Analisado: apendice (sem extensao) Nome a Ser Dado ao Programa NC: apendice (sem extensao)			

Figura 6.39- Tela de entrada de dados sobre arquivos.

A próxima etapa do processo é a definição do tipo de comando CNC a ser utilizado.

Esta etapa é executada a partir do posicionamento, por parte do operador, do cursor na opção "COMANDO CNC" e confirmação com "ENTER". O sistema ativa uma janela de entrada de dados onde o operador digita o nome do comando escolhido (figura 6.40). São

The image shows a graphical user interface for a CNC programming system. At the top, the text reads "PROGRAMACAO NC APOIADA EM SISTEMAS" and "C A D - C A P P". Below this, a menu titled "PROCESSADOR NC" is displayed with the following options: "Diretorio", "Arquivos", "Comando CNC", and "Dados sobre a maquina-ferramenta". The "Comando CNC" option is highlighted with a black bar. Below the menu, a separate window is open with the text "Comando CNC a ser utilizado: 3m".

Figura 6.40- Escolha do comando CNC a ser utilizado.

executadas verificações relativas à existência do arquivo que contenha a sintaxe das declarações utilizadas por aquele modelo de CNC. No caso da não existência deste arquivo, o sistema ativa janelas sucessivas para entrada de dados referentes à sintaxe (figura 6.41) e, ao final, monta um arquivo com as declarações de formato definido pelo operador. Para cada declaração, é oferecido um valor "default", facilitando esta entrada de dados. No caso de já existir este arquivo, esta sub-etapa do processamento é suprimida e o sistema faz apenas a leitura dos registros existentes neste arquivo, para posterior montagem das sentenças do programa NC, de acordo com a sintaxe estabelecida.

PROGRAMACAO NC APOIADA EM SISTEMAS

C A D - C A P P

<p>PROCESS</p> <p>Diret</p> <p>Arqu</p> <p>Comand</p> <p>Dados sobre a ma</p> <p>Comando C</p>	<p style="text-align: center;">SINTAXE DO COMANDO</p> <p>Inicio de Programa <Z>:</p> <p>Numero de Bloco <N>:</p> <p>Ponto Decimal? (S/N) <S>:</p> <p>Avanco Rapido <G00>:</p> <p>Interpolacao Linear <G01>:</p> <p>Supressao Raio Ferramenta <G40>:</p> <p>Compensacao Comp. Positivo <G43>:</p> <p>Compensacao Comp. Negativo <G44>:</p> <p>Inibicao Desloc. da Origem <G53>:</p> <p>Deslocamento da origem <G54>:</p> <p>Medidas Absolutas <G90>:</p> <p style="text-align: center;">Confirma? (S/N)</p>
--	--

PROGRAMACAO NC APOIADA EM SISTEMAS

C A D - C A P P

<p>PROCES</p> <p>Dire</p> <p>Arq</p> <p>Coman</p> <p>Dados sobre a m</p> <p>Comando</p>	<p style="text-align: center;">CICLOS E PARAMETROS</p> <p>Sem Ciclo de Furacao <G80>:</p> <p>Ciclo de Furacao/Centragem <G81>:</p> <p>Ciclo de Furacao Profunda <G83>:</p> <p>Ciclo de Rosqueamento com Macho <G84>:</p> <p>Primeira Profundidade de Furacao <R01>:</p> <p>Plano de Referencia <R02>:</p> <p>Profundidade Final de Usinagem <R03>:</p> <p>Tempo de Espera na Partida <R00>:</p> <p>Tempo de Espera no Fundo <R04>:</p> <p>Decrescimo de Profundidade <R05>:</p> <p>Passo da Rosca <R09>:</p> <p style="text-align: center;">Confirma? (S/N)</p>
---	---

PROGRAMACAO NC APOIADA EM SISTEMAS

C A D - C A P P

<p style="text-align: center;">PROCESSADOR NC</p> <p>Diret</p> <p>Arqu</p> <p>Comand</p> <p>Dados sobre a ma</p> <p>Comando C</p>	<p style="text-align: center;">PARAMETROS DE CORTE E MISCELANEAS</p> <p>Avanco <F>:</p> <p>Rotacao do Fuso <S>:</p> <p>Designacao de Ferramenta <T>:</p> <p>Rotacao do Estrado :</p> <p>Fim de Programa <M30>:</p> <p>Rotacao do Fuso a Direita <M03>:</p> <p>Rotacao do Fuso a Esquerda <M04>:</p> <p>Parada do Fuso <M05>:</p> <p style="text-align: center;">Confirma? (S/N)</p>
---	--

Figura 6.41- Entrada de dados referentes à sintaxe das declarações usadas pelo CNC.

Definidas as principais características do modelo do CNC, parte-se agora, para a definição dos dados relativos à máquina-ferramenta a ser utilizada. Para isso, seleciona-se da estrutura de menus disponível no programa "PROCESSA" a opção "DADOS SOBRE A MÁQUINA-FERRAMENTA", confirmando-a com "ENTER". O sistema ativa, então, a janela de entrada de dados mostrada na figura 6.42 e o operador fornece os respectivos dados.

```
PROGRAMACAO NC APOIADA EM SISTEMAS
      C A D - C A P P

PROCESSADOR NC
Diretorio
DADOS SOBRE A MAQ.-FERRAMENTA
Ponto de Troca de Ferramentas
Coordenada x: 450
Coordenada y: 150
Coordenada z: 600

"
Angulo de Rotacao do Palete: 180
Numero do Palete Utilizado: 1
Ligar Fluido de Corte ? (S/N)
```

Figura 6.42- Entrada de dados sobre a máquina-ferramenta.

De posse desses dados, o operador pode proceder o processamento para geração do programa NC. Este processamento tem sua execução ativada com o operador apontando o cursor na opção "GERAÇÃO DO PROGRAMA NC", disponível na estrutura de menus do programa "PROCESSA", e confirmando-a com "ENTER". A partir daí, o sistema se incumba de todo o processamento, sem a participação do operador. De acordo com o estágio do processamento, são ativas janelas de mensagem para orientação do operador.

Após o término do processo de geração do programa NC, o operador pode ainda, acionando a opção "VERIFICAÇÃO GRÁFICA" disponível no mesmo menu, executar a simulação gráfica dos movimentos de todas as ferramentas envolvidas no processo de usinagem do componente programado. Para tanto, o programa "PROCESSA" executa módulos do sistema "EDITE", desenvolvido pelo GRUCON (UFSC). Pretende-se com isso, obter um completo acompanhamento do processo de geração dos programas NC.

CAPÍTULO VII

CONCLUSÕES

Este trabalho procurou, de forma sistemática, abordar o problema específico da integração da programação NC a outras funções de um sistema produtivo, no caso o Projeto e o Planejamento do Processo.

O estudo da literatura mostrou que as soluções apresentadas para viabilizar esta integração, particularmente no que tange à programação NC, caracterizam-se, entre outros aspectos, pelo alto grau de interatividade imposto. Na grande maioria dos sistemas de programação assistida analisados, todo o processo é fortemente influenciado pelas decisões deixadas a cargo do programador, desde a definição das trajetórias das ferramentas, até o seqüenciamento do processo, incluindo determinação e/ou atribuição de valores dos parâmetros de corte.

Do ponto de vista geométrico, tradicionalmente os programas NC são montados a partir da discretização de movimentos das ferramentas e posterior codificação desta movimentação. Pelo lado tecnológico, na maioria dos casos, as informações são fornecidas pelo programador, através de consulta a tabelas, ábacos etc., codificadas e inseridas no programa NC.

Neste contexto, as principais contribuições deste trabalho foram a de promover um maior grau de automatização do processo de geração dos programas NC, em conjunto com a efetiva integração da programação à ferramentas de CAD e CAPP. Os exemplos desenvolvidos mostram a consistência da metodologia proposta, tanto no que concerne à parte geometria do processo de obtenção

dos programas, quanto com relação aos aspectos tecnológicos envolvidos.

A solução proposta neste trabalho se baseou em uma abordagem que envolve interpretação e tratamento de formas ("features") existentes no modelo geométrico que representa o componente a ser programado. Este conceito foi implementado a partir da possibilidade que oferecem os modernos sistemas CAD de permitir que sejam desenvolvidas funções especiais, de construção baseada em técnicas de programação paramétrica, em complemento e apoio aos comandos disponíveis em sua estrutura original. Como exemplo de aplicação desta técnica, foram abordadas formas à base de "patterns" de furos.

Observou-se que a utilização de elementos de forma, aliados a estratégias pré-definidas, facilitou em muito a determinação de soluções otimizadas para movimentação das ferramentas. Além disso, não houve necessidade de reordenações e alterações na estrutura básica do arquivo gráfico utilizado, conferindo flexibilidade ao método, se aplicado a outros formatos de arquivos gráficos. Estes fatores foram decisivos para obtenção do maior nível de automatização da programação NC.

Em paralelo, comprovou-se que a utilização de técnicas de programação paramétrica pode proporcionar significativo aumento de produtividade na produção do desenho, sem no entanto deformar a estrutura original do sistema CAD ao qual são aplicadas. Além disso, permitiu que fossem preservados os dados referentes às formas abordadas, manipulando-os e gravando-os no arquivo gráfico de forma organizada, viabilizando posterior extração e alimentação do sistema de programação. Para os tipos de operações abordadas neste trabalho, esta técnica se mostrou eficiente, proporcionando

rapidez na criação do desenho, consistência no tratamento dos dados referentes à furação e confiabilidade na extração dos dados do arquivo gráfico.

Para facilitar o acesso às novas funções, foi criado, no âmbito da estrutura do CAD utilizado, o "ambiente CAD-NC", que engloba os programas paramétricos dedicados à criação dos desenhos dos furos em vista superior e determinação de dados pertinentes à programação NC, ainda no estágio de projeto. Também faz parte da estrutura do "ambiente CAD-NC" menus gráficos voltados à orientação do usuário com respeito aos dados necessários à parametrização de cada grade de furos.

Com relação aos aspectos operacionais desta metodologia, observou-se que o acesso e execução dos programas paramétricos através da estrutura de menus implementada proporciona rapidez e segurança ao trabalho, pois o CAD passa a tratar as novas funções como novos comandos. Em contrapartida, observou-se algumas limitações com respeito à estrutura e sintaxe da linguagem de programação utilizada para criação dos programas paramétricos, o que fez com que se defrontasse com algumas dificuldades principalmente no estágio de depuração dos programas.

Os dados extraídos do arquivo gráfico são armazenados em arquivo de acesso randômico. Esta característica confere agilidade ao sistema, pois elimina-se a necessidade de sucessivas leituras do arquivo IGES que, dependendo da quantidade e do tipo de entidades gráficas usadas na representação do componente, pode se tornar extremamente extenso, provocando perdas à eficiência do sistema como um todo.

Os dados tecnológicos intrínsecos à programação NC são fornecidos por um sistema CAPP desenvolvido na própria UFSC, e

como interface CAPP/CAM foi criado um arquivo, de acesso randômico, que armazena todos os dados relativos às ferramentas empregadas no processo de usinagem dos furos e respectivos valores dos parâmetros de corte.

A solução proposta adota soluções disponíveis nos bancos de dados do CAPP, particularmente no tocante à seleção de ferramentas e valores de parâmetros de corte, o que permite prever acentuada diminuição dos custos relativos a estoques de ferramentas. Paralelamente, a gama de ferramentas utilizadas permitiu que se abordasse grande porcentagem de tipos de furos existentes na prática, conferindo alto grau de abrangência ao sistema de programação.

No que diz respeito à geração dos programas NC, particularmente na etapa de codificação, o uso de ciclos fixos permitiu sensível diminuição do número de blocos de programação. Em complemento, pode-se comprovar um significativo aumento de produtividade na produção dos programas com a aplicação do conceito de "processador de uma etapa". Esta metodologia faz com que os programas sejam obtidos com base em um processo bastante resumido, com um mínimo de interações com o usuário. Não obstante, observou-se, no decorrer da implementação, que as normas que regulamentam a sintaxe das declarações utilizadas na codificação dos programas NC em linguagem manual se mostram insuficientes em termos de padronização. As normas existentes deixam livres alguns registros, que passam a ser utilizadas por fabricantes de comandos para inserção de novos recursos ou mesmo atualizações dos modelos de CNC. Isto acaba por aumentar o grau de especificidade dos programas com respeito aos comandos CNC.

Como conclusão final do trabalho, observa-se que a quantidade e a natureza dos dados envolvidos na atividade de elaboração de programas NC e os conceitos de Projeto e Planejamento do Processo Auxiliados por Computador mostram a necessidade e justificam plenamente o desenvolvimento de metodologias de integração CAD/CAPP/CAM.

7.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho de forma alguma pretende esgotar os estudos na área de integração CAD/CAPP/CAM, com ênfase na programação NC. Observa-se, a partir da aplicação da metodologia empregada no desenvolvimento do trabalho, a existência de inúmeros caminhos a serem trilhados por trabalhos subseqüentes, para aperfeiçoamento das interfaces CAD/CAPP/CAM.

Com relação à interface CAD/CAM, torna-se fundamental a adaptação da filosofia proposta neste trabalho aos requisitos impostos pelos novos padrões para troca de informações de produto. Dentre esses, o STEP surge como solução ao problema de troca de informações, não só entre sistemas CAD/CAM, mas, e principalmente, no tratamento de características tecnológicas necessárias ao planejamento do processo e, por conseguinte à integração CAD/CAPP. Em paralelo, a aplicação do conceito de projeto orientado à fabricação, aqui exemplificado pela programação paramétrica em ambiente CAD, se apresenta como uma ferramenta de grande potencial se aplicado a outros processos de usinagem como o torneamento, fresamento etc.

No suporte tecnológico ao processo de geração dos programas NC, alguns tópicos se mostram particularmente

interessantes, devido à possibilidade de rápida implementação. Com relação ao processo de furação, podem ser desenvolvidas extensões do modelo proposto, dotando-o de recursos para manipulação de outros tipos de ferramentas como brocas calibradoras, barras de mandrilar, fresas de topo etc. Isto aproximaria de 100% os tipos de furos encontrados na prática. Paralelamente, e também no caso de adaptação da técnica a outros processos de usinagem, podem ser desenvolvidos trabalhos visando a integração da metodologia proposta à sistemas de bancos de dados de usinagem (ferramentas e parâmetros de corte), contribuindo para um aumento da abrangência do método.

No outro extremo, o programa NC, é de vital importância que se desenvolvam pesquisas relacionadas à padronização de estrutura e sintaxe das linguagens de programação, afim de permitir que a tecnologia NC possa ser eficientemente inserida no contexto dos modernos sistemas flexíveis de manufatura. Nesta área, sugere-se particularmente a adaptação da filosofia proposta a padrões como o BCL, que se apresentam como importante contribuição no equacionamento desses problemas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] CASTRO, J. T.
"Fabricação assistida por computador"
Eletricidade, n. 232, p. 87-99, março, 1987
- [2] LEPIKSON, H. A.
"Planejamento de sistemas automatizados: uma visão de CIM"
Publicação Interna, UFSC, 25 p., setembro, 1987
- [3] MACHADO, A.
"Comando Numérico aplicado às máquinas-ferramentas"
Ícone Editora Ltda, 1986
- [4] MARTIN, J. M.
"Picking a CNC"
Manufacturing Engineering, p. 59-62, may, 1989
- [5] BOROS, G. A.
"CNC software innovations enhances part-programming"
Proceedings of the 19th Technical Conference of Numerical Control Society, p. 40-52, 1982
- [6] O'NEIL, J. R.
"An advanced NC programming language for custom machining cycles"
Proceedings of the 19th Technical Conference of Numerical Control Society, p. 124-139, 1982
- [7] GREGOIRE, J.-C.
"Putting Intelligence in CNC"
Proceedings of IECON, p. 4-8, 1987
- [8] ELETRONIC INDUSTRIES ASSOCIATION
"32 Bit Binary CL Exchange Input Format for NC Machines"
EIA-494, 57 p., august, 1983
- [9] SMITH, M.
"Putting BCL to work - an implementation guide"
23 nd Annual Technical Conference, Association for Integrated Manufacturing Technology, Mineapolis, p. 74-92, 1986
- [10] SMITH, G. T.
"BCL standartizes part program format"
23 rd Annual Technical Conference, Association for Integrated Manufacturing Technology, Mineapolis, p. 101-3, 1986
- [11] BOROS, G. A.
"BCL - the industrial standart"
23 rd Annual Technical Conference, Association for Integrated Manufacturing Technology, Mineapolis, p. 70-3, 1986

- [12] LEPIKSON, H. A.
"Padronização e interação das unidades de fabricação, medição e manipulação de uma célula flexível de manufatura"
Dissertação (mestrado em Engenharia Mecânica) UFSC, 230 p., março, 1990
- [13] SMITH, M. H.
"The New Role of CNC in CIM"
22 nd Annual Technical Conference, Association for Integrated Manufacturing Technology, St. Louis, p. 138-146, 1985
- [14] GROOVER, M. P.
"Automation, Production Systems and Computer Integrated Manufacturing"
Prentice-Hall Inc., 1987
- [15] DOLL, W. J. e VONDEREMBSE, M. A.
"Forging a paternship to achieve competitive advantage: the CIM challenge"
MIS Quaterly, p. 205-22, june, 1987
- [16] PUENTE, E. A, e ARACIL, R.
"Sistemas flexibles de fabricación: implementación y integración"
Publicacao Interna, Universidad Politécnica de Madrid, DISAM 22 p., 1986
- [17] ROZENFELD, H.
"Desenvolvimento de um sistema integrado de CAPP para a realidade brasileira"
Anais do X COBEM, p. 511-4, dezembro, 1989
- [18] BULLINGER, H.-J.
"Strategic planning issues of CAX"
Proceedings of the Technology Assessment and Management, Conference of the Gottlieb Duttweiler Institute, p. 117-136, november, 1986
- [19] CHANG, T.-C.
"Advances in computer-aided process planning"
NBS Internal Report GCR 83-441, 135 p., july, 1983
- [20] ESPINOZA, J. E. J.
"Um sistema gráfico-interativo para matrizes de solados injetados"
Dissertação (mestrado em engenharia mecânica) UFSC, 150 p., dezembro, 1989
- [21] KOREN, Y.
"Computer control of manufacturing systems"
McGraw Hill Book Company, 1983
- [22] KOCHAN, D.
"Flexible manufacturing and CAD/CAM evaluation and selection systems"
Computers in Industry, v. 8, p. 201-7, 1987

- [23] HITOMI, K.
"Manufacturing Systems Engineering"
Taylor and Francis Ltd, London, 1979
- [24] CHANG, T.-C. e WYSK, R. A.
"An introduction to automated process planning systems"
Prentice Hall Inc., 239 p., 1985
- [25] ADAMS, J. M. e HADEN, D. H.
"Computers: appreciation, applications and implication - one introduction"
John Wiley and Sons, 583 p., 1973
- [26] ASAI, H. e ORITO, K.
"NC programming - advantages, applications and time estimating practises [2]"
Metalworking Engineering and Marketing, p. 46-9, may, 1980
- [27] FERREIRA, A. C.
"Programação manual de máquinas com comando numerico"
Apostila do curso de programação manual de máquinas NC
SOBRACON, 1986
- [28] SME
"Fundamentals of Computer Numerical Control"
Tool and Manufacturing Engineers Handbook - Machinning,
Fourth Edition, Dearborn, One S.M.E. Drive, Vol. 1,
p. 5.23-28, 1983
- [29] HATSCHEK, R. L.
"NC Programming"
American Machinist Special Report 719, p.119-134,
february, 1980
- [30] PRUN, J.
"CAD to CAM: how to select a graphic system for NC programming"
Computer-Aided Design Report, p. 1-16, january, 1988
- [31] LANDOLT, S.
"Advantages and disadvantages of various programming systems in production"
Sulzer Technical Review, v. 2, p. 11-6, 1987
- [32] COLEMAN, J. R. e LUNN, D. I.
"Manual vs. computer-assisted NC programming"
Tooling and Production, p. 65-9, january, 1983
- [33] MEIER, H. e SPUR, G.
"Workshop programming with CNC turning machines"
Annals of the CIRP, v. 30, n. 1, p. 353-8, 1981
- [34] QUEIRÓZ, A. A.
"MDI Data preparation for numerically controlled milling machines"
Ph.D. Thesis, Loughborough University of Technology,
325 p., 1983

- [35] SME
"NC programming fundamentals"
Tool and Manufacturing Engineers Handbook - Machinning,
Fourth Edition, Dearborn, One S.M.E. Drive, Vol. 1,
p. 5.40-55, 1983
- [36] BUTLIN, T.
"An alternative to complex programming systems"
21 st Annual Technical Conference, Association for Integra-
ted Manufacturing Technology, Long Beach, p. 213-9, 1984
- [37] SATINE, L., HINDUJA, S., VALE, G. e BOON, J.
"A process-oriented system for NC lathes"
International Journal of Machine Tool Design Research,
v. 20, p. 111-21, 1980
- [38] HINDUJA, C., RAO, P. N., CHAW, W. e GREENHALOGH, C.
**"An operator-directed control system for NC drilling
machines"**
International Journal of Machine Tool Design Research,
v. 23, n. 4, p. 263-278, 1983
- [39] HEGLAND, D. E.
"Numerical Control: your best investment in productivity"
Production Engineering, p. 42-7, march, 1981
- [40] ROZENFELD, H.
**"Desenvolvimento de uma linguagem universal para a progra-
mação de máquinas CNC"**
Anais do IX SCNB, p. 02.01-20, agosto, 1989
- [41] BRUNCKHORST, C. e RABELO, R. J.
"Tópicos em automação industrial"
Publicação Interna, UFSC, 54 p., agosto, 1987
- [42] QUEIRÓZ, A. A.
**"Sistema de apoio a programação de máquinas comandadas nu-
mericamente"**
Anais do IX COBEM, p. 1059-1062, dezembro 1987
- [43] SUBURBAN MACHINERY INC.
PCNC Programming System Operator's Manual,
Suburban Machinery Inc. Software Division, 53 p., 1983
- [44] IBM
"Automatically Programmed Tool - Advance Contouring"
Numerical Control Processor,
Program Reference Manual, IBM Corporation, Third Edition
775 p., July, 1985
- [45] NASSR, J. J., FRANCIS, B. R. e BASS, L. S.
"Zooming in on post-processors"
22 nd Annual Technical Conference, Association for Integra-
ted Manufacturing Technology, St. Louis, p. 281-8, 1985

- [46] SUBRAMANIAN, M. L.
"CLFile Manipulator"
21 st Annual Technical Conference, Association for Integrated Manufacturing Technology, Long Beach, p. 249-63, 1984
- [47] BEDI, S. e VICKERS, G. W.
"Post-processors for numerically controlled machine tools"
Computers in Industry, v. 9, p. 3-18, 1987
- [48] KROUSE, J. K.
"NC programming: the link between CAD and CAM"
Machine Design, p. 111-5, september 10, 1981
- [49] LIMA, J. O. S. e RIBEIRO, A. C. L.
"Determinação do método de programação NC"
Anais do VII SCNB, p. 13.01-20, 1986
- [50] FERREIRA, A. C.
"Curso de introdução ao comando numérico a automatização industrial - Vol. II"
Universidade Federal de Santa Catarina - GRUCON, 1986
- [51] KNORR, A. A.
"Aplicações de um sistema CAD/CAM para máquinas NC (conceitos básicos)"
Anais do Simpósio sobre CAD/CAM São Paulo, p. 208-229, 1986
- [52] WHITE, M. E.
"Dissolving the post-processor myth"
23 rd Annual Technical Conference, Association for Integrated Manufacturing Technology, Mineapolis, p. 92-4, 1986
- [53] EDWARDS, S.
"What to expect of a general post-processor?"
23 rd Annual Technical Conference, Association for Integrated Manufacturing Technology, Mineapolis, p. 183-90, 1986
- [54] DALLA ROSA, J. M.
"Uma contribuição para a integração CAD/CAPP"
Dissertação (mestrado em engenharia mecânica) UFSC, 216 p., outubro, 1989
- [55] SCHUSTER, R., VOGEL, E. e TRIPPNER, D.
"The use of computers in design and planning - integration via interface management"
Computers and Graphics, v. 10, n. 4, p. 277-295, 1986
- [56] HAGEN, P.
"Intelligent CAD systems"
Springer Verlag, 1987
- [57] WOLTE, R. N. et al
"Solid modelling for production design"
IBM Journal of Research and Development, v. 31, n. 3, p. 277-295, 1987

- [58] SUZUKI, H., INUI, M., KIMURA, F. e SATA, T.
"A product modelling system for constructing intelligent CAD and CAM systems"
Robotics and Computer Integrated Manufacturing, v. 4, n.3/4, p. 483-9, 1988
- [59] ARAI, E. e IWATA, K.
"Product design logic for an intelligent product modelling system"
Robotics and Computer Integrated Manufacturing, v. 4, n.3/4, p. 499-510, 1988
- [60] STEVENSON, D. R.
"The role of microcomputers in interactive computer graphics"
21 st Annual Technical Conference, Association for Integrated Manufacturing Technology, Long Beach, p. 179-183, 1984
- [61] LORD, S. M.
"What I wish I had know about CAD software but didn't know enough to ask"
Mechanical Engineering, p. 24-34, november, 1985
- [62] ROSA, E. e KUSTER, M.
"Editor gráfico para projeto mecânico"
Anais do IX COBEM, p. 657-60, 1987
- [63] CHANG, T.-C., WYSK, R. A. e DAVIES, R. P.
"Interfacing CAD and CAM: a study in hole design"
Computers and Graphics, v. 6, n. 2, p. 91-102, 1982
- [64] TOZI, C. L.
"PAC - Projeto auxiliado por computador"
Editora Papirus, 168 p., 1986
- [65] RODRIGUES, V. e VESCOVI, M. R.
"The knowledge-based automatic extraction of the machinable surfaces for automatic CAD-CAM systems"
Publicação Interna, INPE-MCT, 6 p., 1987
- [66] ROY, U. e LIU, C. R.
"Feature-based representational scheme of a solid modeler for providing dimensioning and tolerancing information"
Robotics and Computer Integrated Manufacturing, v. 4, n.3/4, p. 335-45, 1988
- [67] PFORTMILLER, L.
"Data structures in CAD software"
Byte, p. 177-84, june, 1987
- [68] VESCOVI, M. R.
"Um sistema automático para extração de informações de um CAD, seleção, seqüenciamento e execução de processos de torneamento"
Dissertação (mestrado em computação aplicada) INPE, 187 p., julho, 1987

- [69] **"Database Management: gateway to CIM"**
American Machinist and Automated Manufacturing, p. 82-8,
october, 1987
- [70] PATEL, R. M. e McLEOD, A. J.
**"Engineering feature description in mechanical engineering
design"**
Computer-Aided Engineering Journal, p. 180-3, october, 1988
- [71] LUBY, S. C., DIXON, J. R. e SIMMONS, M. K.
"Creating and using a features data base"
Computers in Mechanical Engineering, p. 25-33, november,
1986
- [72] SHAH, J. J.
**"Feature transformations between applications-specific
feature spaces"**
Computer-Aided Engineering Journal, p. 247-55, december,
1988
- [73] CHEN, C.-S.
**"Developing a feature based knowledge system for CAD/CAM in-
tegration"**
Computers and Industrial Engineering, v. 15, n. 1-4,
p. 34-40, 1988
- [74] BRODY, H.
"CAD meets CAM"
High Technology, p. 12-8, may, 1987
- [75] DRAKE, S. e SELA, S.
"A foundation for features"
Mechanical Engineering, p. 66-73, january, 1989
- [76] DEITZ, D.
"The power of parametrics"
Mechanical Engineering, p. 58-64, january, 1989
- [77] HARRISON, D. K. e LEONARD, R.
**"Optimizing CAD usage in small manufacturing companies
by parametric programming"**
Computer-Aided Engineering Journal, p.229-34, december, 1986
- [78] WATSON, S.
"Relational geometry - a new generation of 2D CAD"
Computer-Aided Engineering Journal, p. 169-73, august, 1988
- [79] NOVASKI, O. e SANTA, W. D.
"Aspectos gerais da Tecnologia de Grupo"
Publicação Interna CT-n. 10, UNICAMP, 47 p., 1986
- [80] KUTTNER, B. C. e LACHANGE, M.
"Assessing standarts and alternative means of data transfer"
Averbach Publishers Inc., v. 1, s. 20, p. 1-11, 1986

- [81] NBS
"Initial Graphics Exchange Specification - v. 2.0"
National Bureau of Standards - NBS IR 2631 (AF), 1983
- [82] OWEN, J. e BLOOR, M. S.
"Neutral formats for product data exchange: the current situation"
Computer-Aided Design, v. 19, n. 8, p. 436-43, october, 1987
- [83] REHWALD, P.
"VDAFS - An interface to transfer surface description data between CAD systems"
Computers and Graphics, v. 9, n. 1, p. 69-70, 1985
- [84] BRANDLI, N. e MITTELTAEDT, M.
"Exchange of solid models: current state and future trends"
Computer-Aided Design, v. 21, n. 2, p. 87-96, march, 1989
- [85] BEY, I. e GENGENBACH, V.
"The CAD*I interface for solid model exchange"
Computers and Graphics, v. 12, n. 2, p. 181-90, 1988
- [86] MAYER, R. e GUTIDZ, R.
"Experts fight it out"
Machine Design, p. 96-8, june, 1987
- [87] MAYER, R.
"IGES: one answer to the problems of CAD database exchange"
Byte, p. 209-14, june, 1987
- [88] LIEWALD, M. H.
"Initial Graphics Exchange Specification: success and evolution"
Computers and Graphics, v. 9, n. 1, p. 47-50, 1985
- [89] WILKINSON, D. e HALLAN, R.
"A study of product data transfer using IGES"
Computer-Aided Engineering Journal, p. 131-6, june, 1987
- [90] KLEMENT, K. e NOWACKI, H.
"Exchange of model presentation information between CAD systems"
Computers and Graphics, v. 12, n. 2, p. 173-80, 1988
- [91] ISO
"STEP standart of exchange of product model data"
ISO TC 184/SC4 WG1 Preliminary Document, 936 p., october, 1988
- [92] ALTING, L. e ZHANG, H.
"Computer-Aided process planning: the state-of-the-art survey"
International Journal of Production Research, v. 27, n. 4, p. 553-85, 1989

- [93] ZDEBLICK, W. J.
"O planejamento do processo auxiliado por computador"
Boletim n. 19 da SOBRACON, 1985
- [94] VOGUEL, S. A.
"Interfacing CAPP with CAD/CAM"
- [95] WOLTE, P. M.
"CAPP is link between CAD and CAM"
Industrial Engineering, p. 72-7, august, 1985
- [96] QUEIRÓZ, A. A. e EW, A. N.
"O planejamento do processo auxiliado por computador"
Anais do IX COBEM, p. 1055-8, 1987
- [97] ZDEBLICK, W. J.
"Process design by computer"
IEEE Spectrum, p. 56-8, may, 1983
- [98] HAM, I. e LU, S. C.-V.
"Computer-Aided process planning: the present and the future"
Annals of the CIRP, v. 37, n. 2, p. 591-601, 1988
- [99] STEUDEL, H. J.
"Computer-Aided process planning: past, present and future"
International Journal of Production Research, v. 22, n. 2, p. 253-66, 1985
- [100] ALLEN, D. K.
"An introduction to computer-aided process planning"
21 st Annual Technical Conference, Association for Integrated Manufacturing Technology, Long Beach, p. 319-29, 1984
- [101] SRIHARI, K. e GREENE, T. J.
"Alternative routings in CAPP implementation in a FMS"
Computers and Industrial Engineering, v. 15, n. 1-4, p. 41-50, 1988
- [102] DAVIES, B. J. e EL-MIDANY, T. T.
"AUTOCAP - A dialogue system for planning the sequence of operations for turning components"
International Journal of Machine Tool Design Research, v. 21, n. 3/4, p. 175-91, 1981
- [103] OLSON, W. W. e DEVRIES, W.
"Artificial intelligence applications in CAPP"
21 st Annual Technical Conference, Association for Integrated Manufacturing Technology, Long Beach, p. 164-75, 1984
- [104] CHENG, Y. P. e DOWD, A. L.
"Artificial intelligence in process planning"
Computer-Aided Engineering Journal, p. 153-6, august, 1988

- [105] BERENJI, H. R. e KHOSHNEVIS, B.
"Use of AI in automated process planning"
Computers in Mechanical Engineering, p. 47-55, september, 1986
- [106] BELL, R. e YOUNG, R. I. M.
"Machine planning: its role in the generation of manufacturing code from solid model descriptions"
International Journal of Production Research, v. 27, n. 5, p. 847-67, 1989
- [107] SPUR, G.
"Possibilities of merging COMPAC, CAPSY and CAPP"
Proceedings of CAM-I's Annual Meeting, p. 34-50, november, 1979
- [108] ERVE, A. H. e KALS, H. J. J.
"XPLANE: a generative computer-aided process planning system for part manufacturing"
Annals of the CIRP, v. 35, n. 1, p. 325-9, 1986
- [109] DESCOTTE, Y. e LATOMBE, J.-C.
"Making compromises among antagonist constraints in a planner"
Artificial Intelligence, v. 27, p. 183-217, 1985
- [110] WANG, H.-P. e WYSK, R. A.
"Intelligent reasoning for process planning"
Computers and Industry, v. 8, p. 293-309, 1987
- [111] MATSUSHIMA, K., OKADA, N. e SATA, T.
"The integration of CAD and CAM by application of AI techniques"
Annals of the CIRP, v. 31, n. 1, p. 329-32, 1982
- [112] ROZENFELD, H.
"Desenvolvimento de uma base de dados integrada para o planejamento do processo assistido por computador (CAPP)"
Anais do X COBEM, p. 515-8, 1989
- [113] EMERSON, C. e HAM, I.
"An automated coding and process planning system using a DEC PDP-10"
Computers and Industrial Engineering, v. 6, n. 2, p. 159-68, 1982
- [114] LIU, L. e BEDWORTH, D. D.
"A semi-generative approach to computer-aided process planning using Group Technology"
Computers and Industrial Engineering, v. 14, n. 2, p. 127-37, 1988
- [115] DOWNEY, P. J.
"The CAM*I Impact Project - towards integration of manufacturing technologies"
22 nd Annual Technical Conference, Association for Integrated Manufacturing Technology, St. Louis, p. 156-63, 1985

- [116] LI, R.-K. e BEDWORTH, D. D.
"A framework for the integration of computer-aided design and computer-aided process planning"
Computers in Industrial Engineering, v. 14, n. 4,
p. 395-413, 1988
- [117] LAMBOURNE, E. B.
"Towards integration of computer-aided design, manufacturing and production management"
Computer-Aided Engineering Journal, p. 240-4, december, 1986
- [118] ANDO, K., TAKESHIGE, A. e YOSHIKAWA, H.
"An approach to computer integrated production management"
International Journal of Production Research, v. 26, n. 3,
p. 333-50, 1988
- [119] SHEPHERD, D. W.
"Geometric tolerancing: key to assembly and interchangeability"
Machine Design, p. 65-7, august, 1986
- [120] CROZIER, J. E. e BODY, J.
"Some applications of interactive graphics for CNC machining"
23 rd Annual Technical Conference, Association for Integrated Manufacturing Technology, Mineapolis, p. 211-8, 1986
- [121] SAIBENE, G., THOMAZ, L. P., SILVA, H. A. e LEYEN, G.
"Pós-processadores personalizados"
Máquinas e Metais, p. 54-66, agosto, 1986
- [122] GAUSEMIR, J., AJOURY, E. e ROMAN, H.-H.
"Application-specific coupling of CAD systems with NC programming systems"
Industrial and Production Engineering, v. 2, p. 28-35, 1983
- [123] CHAN, B. T. F.
"ROMAPT: a new link between CAD and CAM"
Computer Aided Design, v. 14, n. 5, p. 261-6, 1982
- [124] IIDA, H. e KUWATA, H.
"CAM station and part drawing with 32 bit microprocessors"
23 rd Annual Technical Conference, Association for Integrated Manufacturing Technology, Mineapolis, p. 17-26, 1986
- [125] HOSSAIN, A.
"MICON: an automatic NC/CNC programme generating and simulating system for turning components"
Anais do X COBEM, p. 527-530, dezembro, 1989
- [126] GATALO, R. et al
"Achievements in the development and the future of SAPOR-S system for automatic programming of NC lathes"
Robotics and Computer Integrated Manufacturing, v. 4, n.1/2,
p. 91-102, 1988

- [127] KAWABE, S. et al
"Programming for machine based on workpiece models in computer"
Annals of the CIRP, v. 32, n. 1, p. 351-5, 1983
- [128] EWERSHEIN, W. e HOLZ, B.
"Computer aided programming of NC machine tools by using the system AUTAP-NC"
Annals of the CIRP, v. 31, n. 1, p. 323-7, 1982
- [129] KRAMER, T. R. e JUN, J.-S.
"Software for an automated machining workstation"
International Machine Tool Show Technical Conference, Chicago, I., 34 p., september, 1986
- [130] SCHROETER, R. B.
"Alargamento de precisão em alumínio aeronáutico com ferramenta de gume único regulável"
Dissertação (mestrado em engenharia mecânica), UFSC, 1989
- [131] GODOY, J. M.
"Furação profunda em alumínio de aviação com brocas normais"
Dissertação (mestrado em engenharia mecânica), UFSC, 1987
- [132] ROCHA, A. S.
"Determinação de um modelo de força de usinagem para furação a partir do modelo de força de usinagem do torneamento"
Dissertação (mestrado em engenharia mecânica), UFSC, 1985
- [133] EW, A. N.
"O Planejamento do Processo Auxiliado por Computador aplicado a operações de furação"
Dissertação (mestrado em engenharia mecânica), UFSC, 1989
- [134] SILVA, A. D. P. e QUEIRÓZ, A. A.
"Programação NC apoiada em sistemas CAD e CAPP"
Anais do X COBEM, p. 495-8, 1989
- [135] STANISLAWSKI, M. P. e COON, D. N.
"One step processor"
22 nd Annual Technical Conference, Association for Integrated Manufacturing Technology, St. Louis, p. 202-220 , 1985
- [136] KUTTNER, B.
"Automating NC tool path generation"
Manufacturing Engineering, p. 79-80, may, 1986
- [137] STEMMER, C. E.
"Ferramentas de corte"
Editora da UFSC, Segunda Edição, 1989
- [138] AUTODESK INC.
"AutoLisp Programmer's Reference"
76 p., 1986

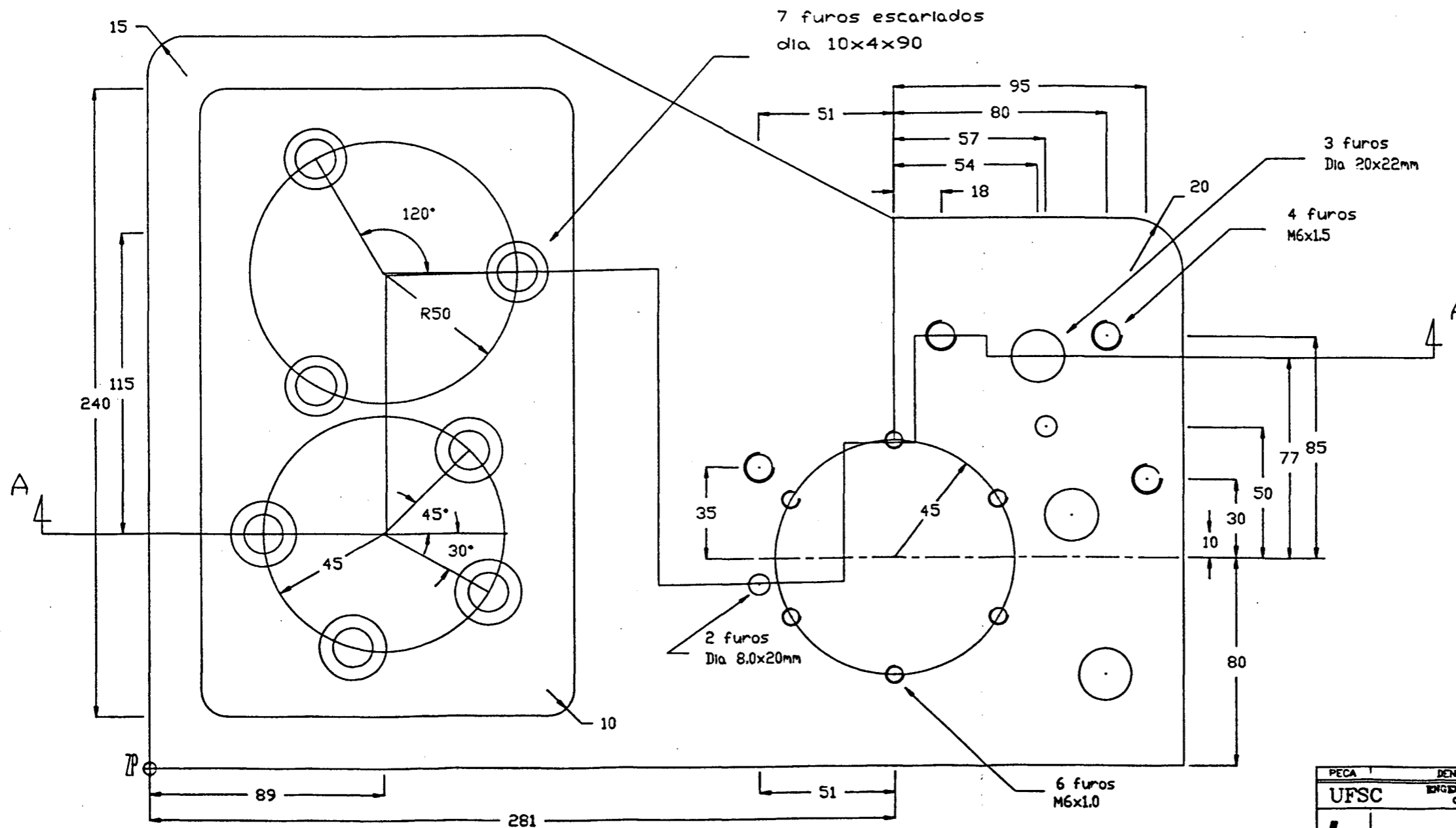
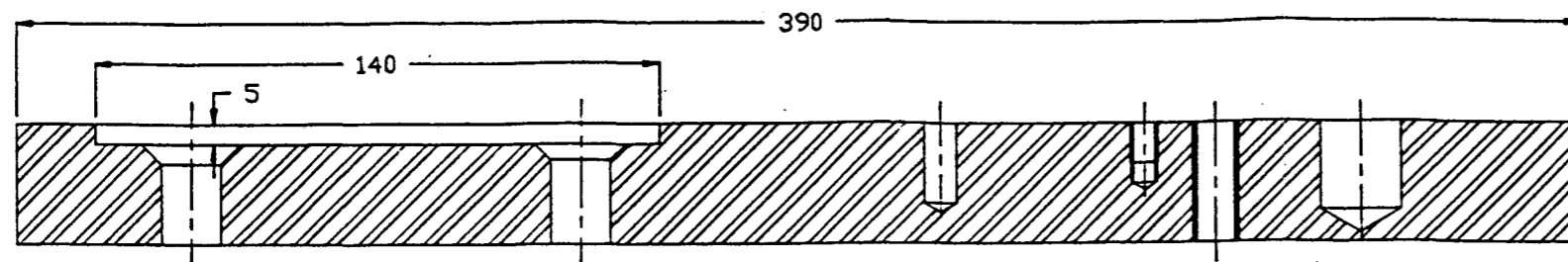
- [139] THOMAS, R. M.
"Advanced Technics in AutoCAD"
Ed. Sybex, 443 p., 1988
- [140] RAKER, D. e RICE, H.
"Inside AutoCAD"
New Riders Publishing, 366 p., 1987

A - UM EXEMPLO APLICADO

Esse apêndice tem a finalidade de ilustrar a utilização do sistema, no caso de uma aplicação de maior complexidade. Em paralelo, visa-se comprovar a eficiência do mesmo, testando-o em toda sua potencialidade.

Inicialmente é apresentado o desenho de uma peça exemplo. A seguir, é anexada toda a documentação do processo de geração do programa NC, que consta de:

- informações sobre as ferramentas a serem utilizadas na usinagem do componente em questão, bem como respectivos valores dos parâmetros de corte;
- listagem do programa NC, de acordo com a sintaxe empregada pelo comando "Sinumerik 3M".
- verificação do programa NC, na forma de simulação gráfica dos movimentos de algumas das ferramentas utilizadas.



PEÇA	DENOMINACAO	QUANT.	MATERIAL	RESERVACAO
UFSC	ENGENHARIA MECANICA GRUCON		NOME	DES. Nº
			DATA	SUBSCR. Nº
			VISTO	DI. SUBSCR. Nº
			DATA	UNIDADE
			ESCALA	APROV.

Lp APENDICE A

A.1 - OS DADOS TECNOLÓGICOS

CÓDIGO DO FURO = 1

FERRAMENTAS	CODIGO	DIAM	f	Vf	Vc	N
-------------	--------	------	---	----	----	---

Br.Centro

Broca	1444	8.5	0.2 mm/rot	320.00 m/min	35.9 m/min	1600.0 RpM
-------	------	-----	------------	--------------	------------	------------

CÓDIGO DO FURO = 2

FERRAMENTAS	CODIGO	DIAM	f	Vf	Vc	N
-------------	--------	------	---	----	----	---

Br.Centro

Broca	1793	8.0	0.2 mm/rot	320.00 m/min	35.9 m/min	1600.0 RpM
-------	------	-----	------------	--------------	------------	------------

CÓDIGO DO FURO = 3

FERRAMENTAS	CODIGO	DIAM	f	Vf	Vc	N
-------------	--------	------	---	----	----	---

Br.Centro

Broca	1793	8.0	0.2 mm/rot	320.00 m/min	35.9 m/min	1600.0 RpM
Broca	1962	19.5	0.2 mm/rot	160.00 m/min	35.5 m/min	800.0 RpM
Alargador	1999	20.0	0.6 mm/rot	339.07 m/min	17.7 m/min	565.1 RpM

CÓDIGO DO FURO = 4

FERRAMENTAS	CODIGO	DIAM	f	Vf	Vc	N
Br. Centro						
Broca	1793	5.0	0.1 mm/rot	89.60 m/min	45.6 m/min	1600.0 RpM

CÓDIGO DO FURO = 5

FERRAMENTAS	CODIGO	DIAM	f	Vf	Vc	N
Br. Centro						
Broca	1234	15.0	0.2 mm/rot	160.00 m/min	35.6 m/min	800.0 RpM
Escariador	7773	20.0	0.6 mm/rot	453.50 m/min	17.8 m/min	755.8 RpM

CÓDIGO DO FURO = 6

FERRAMENTAS	CODIGO	DIAM	f	Vf	Vc	N
Br. Centro						
Broca	1234	15.0	0.2 mm/rot	160.00 m/min	35.6 m/min	800.0 RpM
Escariador	7773	20.0	0.6 mm/rot	453.50 m/min	17.8 m/min	755.8 RpM
Alargador	1989	15.0	0.6 mm/rot	453.50 m/min	17.8 m/min	755.8 RpM

A.2 - O PROGRAMA NC

%

```
N5 G00 G40 G53 G90 Z600.000
N10 G53 X450.000 Y150.000 M05
N15 T01 M06
N20 M21
N25 B180.000
N30 G90 F320 M03 S1600
N35 G00 G43 G54 D01 Z45.000
N40 X376.000 Y110.000
N45 G81 R0235.000 R0325.000
N50 G80 Z45.000
N55 X361.000 Y165.000
N60 G81 R0235.000 R0325.000
N65 G80 Z45.000
N70 X299.000 Y165.000
N75 G81 R0235.000 R0325.000
N80 G80 Z45.000
N85 X230.000 Y115.000
N90 G81 R0235.000 R0325.000
N95 G80 Z45.000
N100 X230.000 Y 70.000
N105 G81 R0235.000 R0325.000
N110 X338.000 Y130.000
N115 G80 Z45.000
N120 X335.000 Y157.000
N125 G81 R0235.000 R0325.000
N130 X347.500 Y 96.000
N135 X360.000 Y 35.000
N140 G80 Z45.000
N145 X319.971 Y 57.500
N150 G81 R0235.000 R0325.000
N155 X319.971 Y102.500
N160 X281.000 Y125.000
N165 X242.029 Y102.500
N170 X242.029 Y 57.500
N175 X281.000 Y 35.000
N180 G80 Z45.000
N185 X139.000 Y190.000
N190 G81 R0230.000 R0320.000
N195 X 64.000 Y146.699
N200 X 64.000 Y233.301
N205 G80 Z45.000
N210 X120.820 Y121.820
N215 G81 R0230.000 R0320.000
N220 X127.971 Y 67.500
N225 X 77.353 Y 46.533
N230 X 44.000 Y 90.000
N235 G80 Z45.000
N240 G40 G53 X450.000 Y150.000 Z600.000
N245 T02 M06
N250 G90 F 90 M03 S1600
N255 G00 G43 G54 D02 Z45.000
N260 X319.971 Y 57.500
N265 G81 R0235.000 R0318.000
```

N270 X319.971 Y102.500
N275 X281.000 Y125.000
N280 X242.029 Y102.500
N285 X242.029 Y 57.500
N290 X281.000 Y 35.000
N295 G80 Z45.000
N300 G40 G53 X450.000 Y150.000 Z600.000
N305 T03 M06
N310 G90 F320 M03 S1600
N315 G00 G43 G54 D03 Z45.000
N320 X230.000 Y 70.000
N325 G81 R0235.000 R0310.000
N330 X338.000 Y130.000
N335 G80 Z45.000
N340 G90 F320 M03 S1600
N345 G00 G43 G54 D03 Z45.000
N350 X335.000 Y157.000
N355 G81 R0235.000 R03 8.000
N360 X347.500 Y 96.000
N365 X360.000 Y 35.000
N370 G80 Z45.000
N375 G40 G53 X450.000 Y150.000 Z600.000
N380 T04 M06
N385 G90 F320 M03 S1600
N390 G00 G43 G54 D04 Z45.000
N395 X376.000 Y110.000
N400 G83 R0121.250 R0235.000 R03-3.000 R005.000 R041.000 R05 5.320
N405 G80 Z45.000
N410 G90 F320 M03 S1600
N415 G00 G43 G54 D04 Z45.000
N420 X361.000 Y165.000
N425 G83 R0121.250 R0235.000 R03-3.000 R005.000 R041.000 R05 5.320
N430 G80 Z45.000
N435 G90 F320 M03 S1600
N440 G00 G43 G54 D04 Z45.000
N445 X299.000 Y165.000
N450 G83 R0121.250 R0235.000 R03-3.000 R005.000 R041.000 R05 5.320
N455 G80 Z45.000
N460 G90 F320 M03 S1600
N465 G00 G43 G54 D04 Z45.000
N470 X230.000 Y115.000
N475 G83 R0121.250 R0235.000 R03-3.000 R005.000 R041.000 R05 5.320
N480 G80 Z45.000
N485 G40 G53 X450.000 Y150.000 Z600.000
N490 T05 M06
N495 G90 F160 M03 S800
N500 G00 G43 G54 D05 Z45.000
N505 X139.000 Y190.000
N510 G81 R0230.000 R03-3.000
N515 X 64.000 Y146.699
N520 X 64.000 Y233.301
N525 G80 Z45.000
N530 G90 F160 M03 S800
N535 G00 G43 G54 D05 Z45.000
N540 X120.820 Y121.820
N545 G81 R0230.000 R03-3.000
N550 X127.971 Y 67.500

N555 X 77.353 Y 46.533
N560 X 44.000 Y 90.000
N565 G80 Z45.000
N570 G40 G53 X450.000 Y150.000 Z600.000
N575 T06 M06
N580 G90 F160 M03 S800
N585 G00 G43 G54 D06 Z45.000
N590 X335.000 Y157.000
N595 G81 R0235.000 R03 8.000
N600 X347.500 Y 96.000
N605 X360.000 Y 35.000
N610 G80 Z45.000
N615 G40 G53 X450.000 Y150.000 Z600.000
N620 T07 M06
N625 G90 F453 M03 S756
N630 G00 G43 G54 D07 Z45.000
N635 X139.000 Y190.000
N640 G81 R0230.000 R0321.000
N645 X 64.000 Y146.699
N650 X 64.000 Y233.301
N655 G80 Z45.000
N660 G90 F453 M03 S756
N665 G00 G43 G54 D07 Z45.000
N670 X120.820 Y121.820
N675 G81 R0230.000 R0320.000
N680 X127.971 Y 67.500
N685 X 77.353 Y 46.533
N690 X 44.000 Y 90.000
N695 G80 Z45.000
N700 G40 G53 X450.000 Y150.000 Z600.000
N705 T08 M06
N710 G90 F453 M03 S756
N715 G00 G43 G54 D08 Z45.000
N720 X120.820 Y121.820
N725 G81 R0230.000 R03-3.000
N730 X127.971 Y 67.500
N735 X 77.353 Y 46.533
N740 X 44.000 Y 90.000
N745 G80 Z45.000
N750 G40 G53 X450.000 Y150.000 Z600.000
N755 T09 M06
N760 G90 F339 M03 S565
N765 G00 G43 G54 D09 Z45.000
N770 X335.000 Y157.000
N775 G81 R0235.000 R03 8.000
N780 X347.500 Y 96.000
N785 X360.000 Y 35.000
N790 G80 Z45.000
N795 G40 G53 X450.000 Y150.000 Z600.000
N800 T10 M06
N805 G90 F100 M03 S597
N810 G00 G43 G54 D10 Z45.000
N815 X319.971 Y 57.500
N820 G84 R0235.000 R0310.000 R06 04 R07 03 R091.000
N825 X319.971 Y102.500
N830 X281.000 Y125.000
N835 X242.029 Y102.500

N840 X242.029 Y 57.500
N845 X281.000 Y 35.000
N850 G80 Z45.000
N855 G40 G53 X450.000 Y150.000 Z600.000
N860 T11 M06
N865 G90 F100 M03 S239
N870 G00 G43 G54 D11 Z45.000
N875 X376.000 Y110.000
N880 G84 R0235.000 R03 8.000 R06 04 R07 03 R091.500
N885 G80 Z45.000
N890 G90 F100 M03 S796
N895 G00 G43 G54 D11 Z45.000
N900 X361.000 Y165.000
N905 G84 R0235.000 R0318.000 R06 04 R07 03 R091.500
N910 G80 Z45.000
N915 G90 F100 M03 S318
N920 G00 G43 G54 D11 Z45.000
N925 X299.000 Y165.000
N930 G84 R0230.000 R03-3.000 R06 04 R07 03 R091.500
N935 G80 Z45.000
N940 G90 F100 M03 S318
N945 G00 G43 G54 D11 Z45.000
N950 X230.000 Y115.000
N955 G84 R0230.000 R03-3.000 R06 04 R07 03 R091.500
N960 G80 Z45.000
N965 G40 G53 X450.000 Y150.000 Z600.000 B0 M05
N970 T99 M06 M22
N975 M30

A.3 - SIMULAÇÃO GRÁFICA

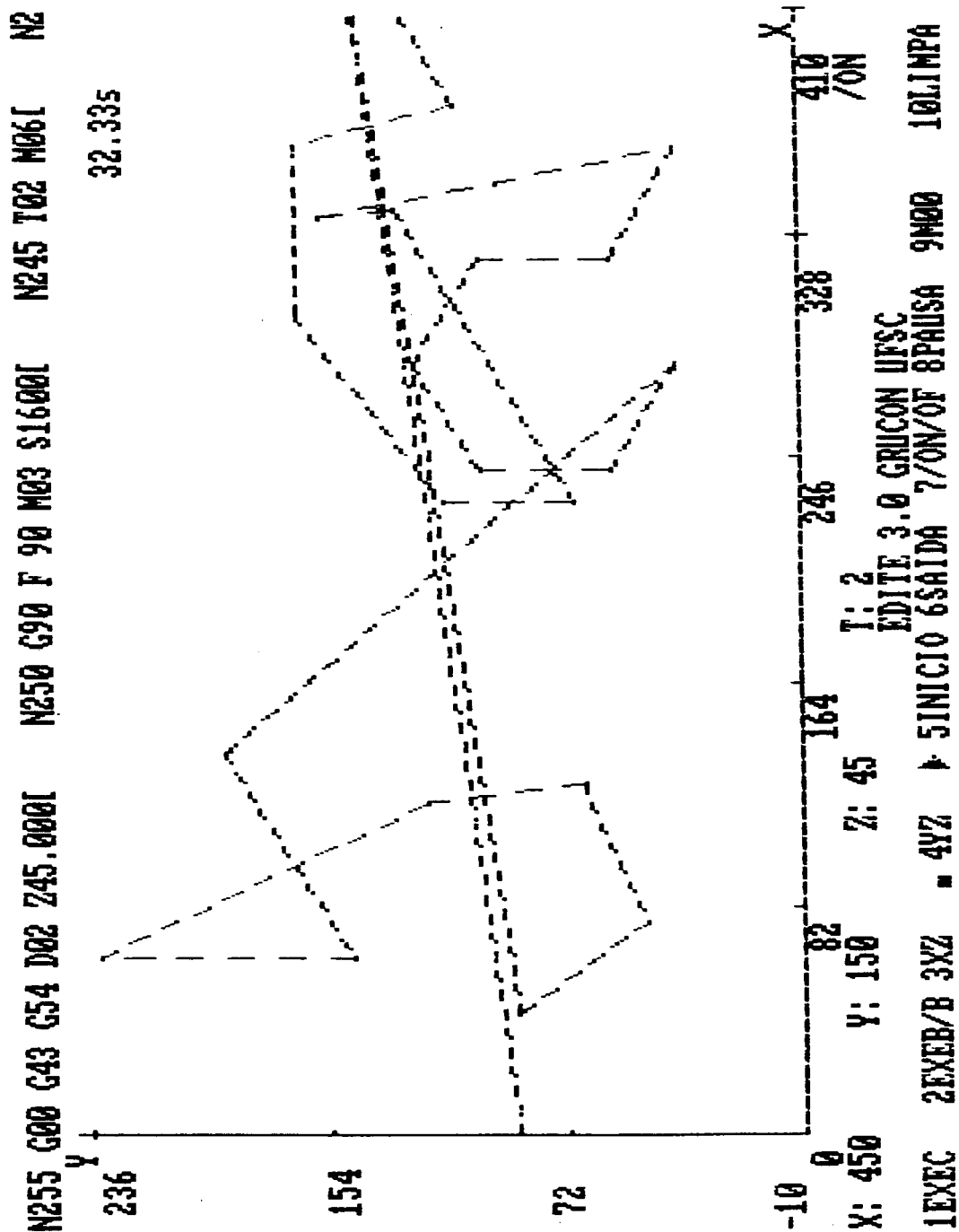


Figura A.1- Movimentação da primeira ferramenta (Broca de Centro)

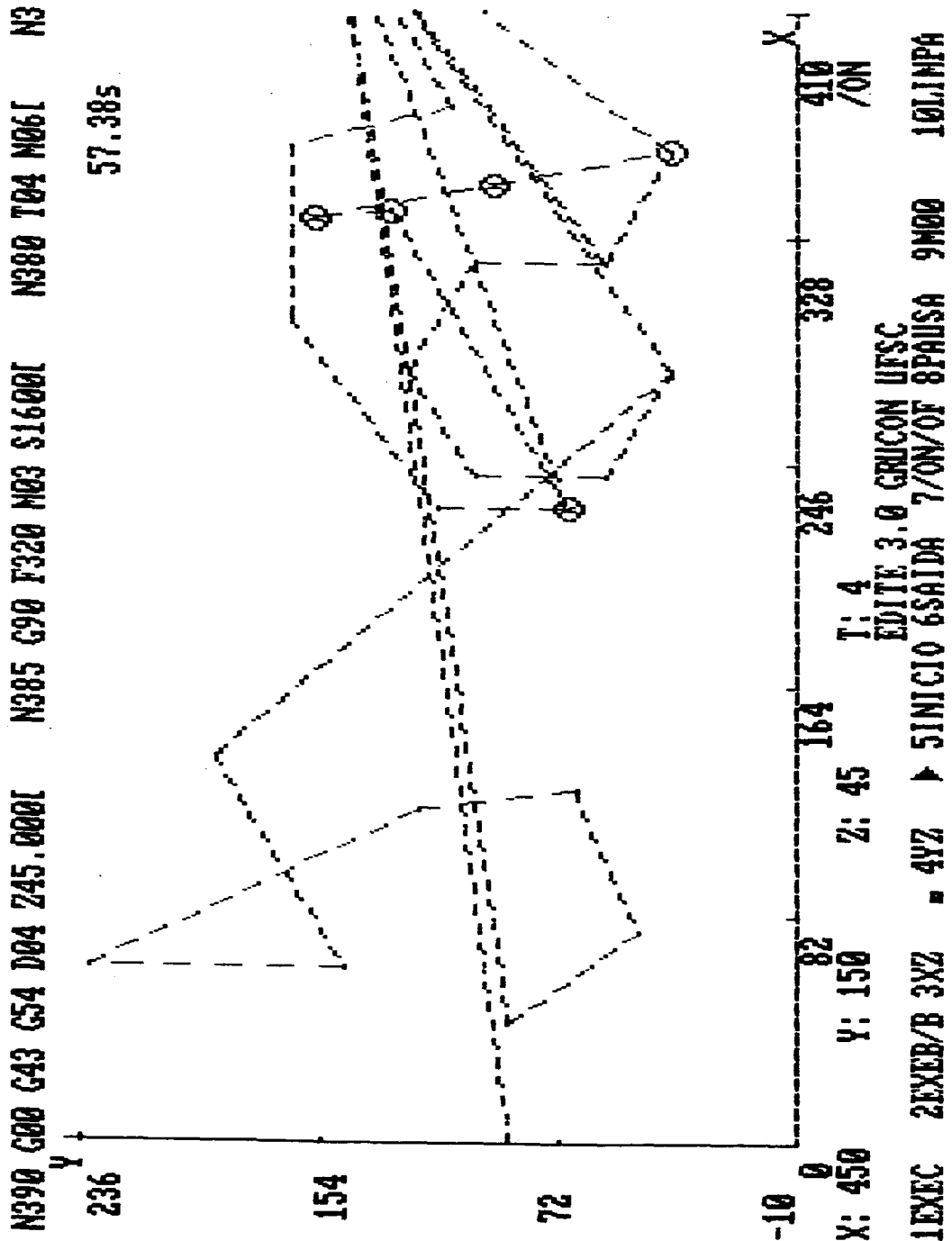


Figura A.2- Movimentação da terceira ferramenta (Broca de diâmetro 8.0 mm)

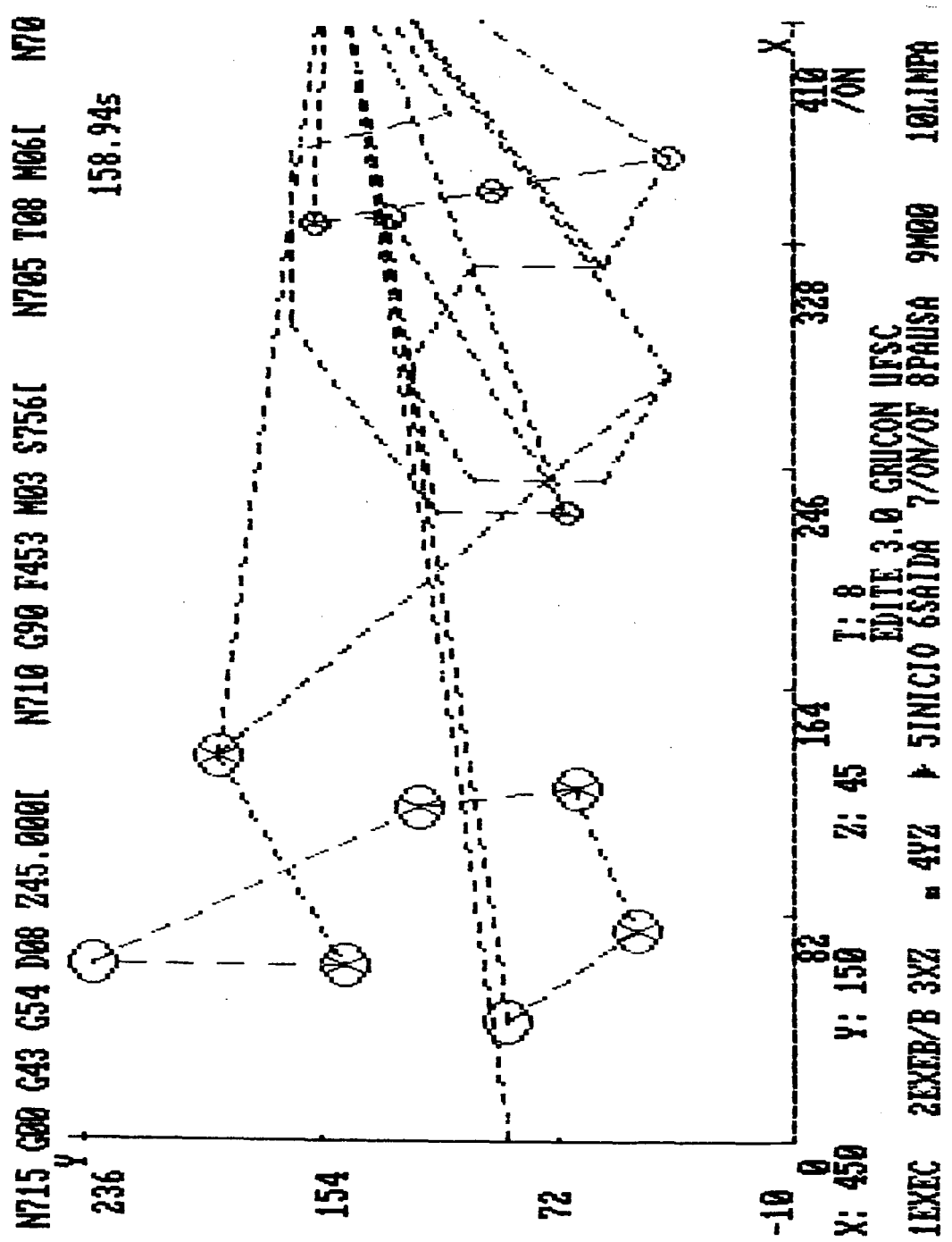


Figura A.3- Movimentação da sétima ferramenta (escariador)