

✓

# ***Planejamento de Processo Automático para peças paramétricas***

**Haroldo Thomaz Kerry Jr.**

**Dissertação apresentada à Escola de  
Engenharia de São Carlos, da  
Universidade de São Paulo, como parte  
dos requisitos para obtenção do Título de  
Mestre em Engenharia Mecânica.**

DEDALUS - Acervo - EESC



31100035691

**Orientador: Prof. Dr. - Ing. Henrique Rozenfeld**

**SÃO CARLOS**

**Estado de São Paulo- Brasil**

**Julho de 1997**



Class. TCSE - EESC  
Cott. 2856  
Tombo 198197

311 00035691

st 0934378

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento  
da Informação do Serviço de Biblioteca - EESC-USP**

K41p Kerry Jr., Haroldo Thomaz  
Planejamento de processo automático para peças  
paramétricas / Haroldo Thomaz Kerry Jr. -- São  
Carlos, 1997.

1 Dissertação (Mestrado). -- Escola de Engenharia  
de São Carlos-Universidade de São Paulo, 1997.  
Área: Engenharia Mecânica  
Orientador: Prof. Dr. Henrique Rozenfeld

1. Peças paramétricas. 2. Engenharia de  
planejamento. I. Título.

## FOLHA DE APROVAÇÃO

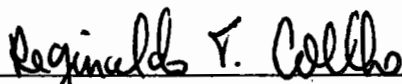
Candidato: Engenheiro **HAROLDO THOMAZ KERRY JUNIOR**

Dissertação defendida e aprovada em 19-9-1997  
pela Comissão Julgadora:



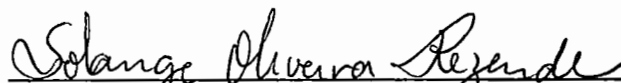
---

Prof. Titular **HENRIQUE ROZENFELD (Orientador)**  
(Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)



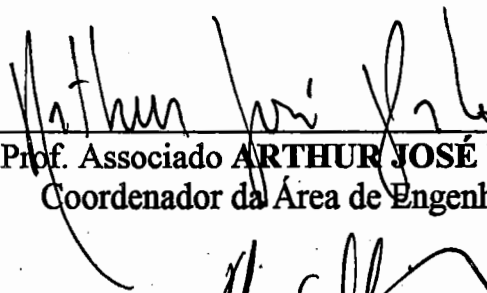
---

Prof. Doutor **REGINALDO TEIXEIRA COELHO**  
(Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)



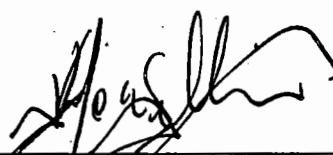
---

Profª. Doutora **SOLANGE OLIVEIRA REZENDE**  
(Instituto de Ciências Matemáticas de São Carlos - Universidade de São Paulo)



---

Prof. Associado **ARTHUR JOSÉ VIEIRA PORTO**  
Coordenador da Área de Engenharia Mecânica



---

Prof. Titular **JOÃO VITOR MOCCELLIN**  
Vice-Presidente da Comissão de Pós-Graduação

Aos meus pais, professores aplicados no meu crescer

## **Agradecimentos**

A minha família, pai, mãe e irmão, que sempre investiram mais do que tudo no sentido da minha evolução pessoal e técnica.

A minha namorada Silvia, pelo amor de todos os dias.

Ao meu orientador, professor e amigo Henrique Rozenfeld, pelos apoio técnico e principalmente humano.

Aos amigos Carlos Eduardo Serrano Ribeiro e Alexandre Salgado Lino de Almeida pelo companheirismo de todas as horas.

Aos amigos Antônio Carlos de Almeida, Gilmar Antônio dos Santos e Bruno Schrappe, sempre prontos para viagens idílicas, papos nonsense e festas.

Aos amigos da KSR pelo prazer em vê-los lutar pelos seus objetivos com integridade e competência.

Ao Pieber, Cláusia e outros colegas da Metal-Leve pela confiança no meu trabalho e apoio total no processo de implantação do CAPPE.

Aos amigos do projeto CIM (ITI's, DTI's, Mestrandos e Doutorandos), atuais e os já formados, que tornaram o nosso ambiente de trabalho especial.

# SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS</b>	<b>vi</b>
<b>RESUMO</b>	<b>ix</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>x</b>
<b>ABREVIATURAS e GLOSSÁRIO</b>	<b>xi</b>
<b>1. Introdução</b>	<b>1</b>
1.1. Localização do trabalho	2
1.2. Objetivos	4
1.3. Conteúdo	4
<b>2. Planejamento de Processo por Computador</b>	<b>6</b>
2.1. Plano de Processo	6
2.2. Planejamento Convencional	11
2.2.1. Planejamento Macro	12
2.2.2. Detalhamento de Operações	13
2.3. Atividades de Planejamento	15
2.3.1. Definição dos dados organizacionais	17
2.3.2. Determinação da peça em bruto	18
2.3.3. Determinação das operações e sua seqüência	18
2.3.4. Determinação de equipamentos	19
2.3.5. Determinação de sub-operações	19
2.3.6. Determinação de Ilustrações Auxiliares (Croquis)	19
2.3.7. Programação CN	20
2.3.8. Determinação de Ferramental	21
2.3.9. Cálculo das Condições de Usinagem	22
2.3.10. Cálculo dos tempos de fabricação	22
2.3.11. Simulação de Custo Industrial	23
2.3.12. Outras funções	23
2.4. Características do Planejamento Convencional	23

<b>2.5. Formas de Representação da Peça</b>	<b>26</b>
2.5.1. Linguagens Descritivas	27
2.5.2. Linguagens Geométricas	29
<b>2.6. Métodos de planejamento por computador</b>	<b>47</b>
2.6.1. Planejamento Variante	49
2.6.2. Planejamento Generativo Automático	52
2.6.3. Planejamento Generativo Interativo	56
2.6.4. Planejamento híbrido	60
<b>2.7. Alternativas de planejamento automático</b>	<b>60</b>
2.7.1. Atividade de Planejamento realizada.	61
2.7.2. Representação da peça utilizada	62
2.7.3. Métodos de elaboração do plano de processo	63
<b>2.8. Soluções Existentes</b>	<b>65</b>
2.8.1. CAPPE	67
2.8.2. MetCAPP	71
2.8.3. PART	72
2.8.4. Process Innovator	76
2.8.5. SuperCAPES	76
<b>2.9. Síntese da Situação Atual</b>	<b>78</b>
<b>3. Requisitos para o desenvolvimento de um sistema CAPP para peças paramétricas</b>	<b>79</b>
<b>4. Concepção do sistema</b>	<b>83</b>
4.1. Método Adotado	83
4.2. Visão geral do sistema	85
4.3. Modelo operacional do sistema	88
<b>5. Implementação do Sistema</b>	<b>93</b>
5.1. Seleção de ferramentas computacionais	93
5.1.1- Visão geral do PowerBuilder	95
5.2. Visão da implementação	97
5.2.1. Implementação do sistema de classificação	97

5.2.2. Implementação do sistema de cálculo de fórmulas	110
5.2.3. Sistema de envio de dados ao CAD	122
<b>6. Aplicação Prática</b>	<b>124</b>
6.1. Descrição do caso	124
6.2. Solução Proposta	127
6.2.1. Automação do cálculo de ferramental	127
6.2.2. Automação da geração de documentação	128
6.3. Exemplo de aplicação	130
6.3.1. Cadastro de uma bronzina	130
6.3.2. Cálculo de ferramentas	134
6.3.3. Detalhando o plano de processo	145
6.4. Abrangência da aplicação	150
6.5. Resultados obtidos	151
<b>7. Conclusões e trabalhos futuros</b>	<b>152</b>
<b>Bibliografia</b>	<b>155</b>
<b>Anexo 1: Exemplo de um plano de processo</b>	<b>162</b>



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: O Plano de Processo.....	7
Figura 2: Tipos de Planos de Processo.....	9
Figura 3: Tempo de Usinagem em função do tempo de planejamento.....	10
Figura 4: Estruturação das Informações no plano macro.....	13
Figura 5: Possíveis detalhamentos de uma operação .....	15
Figura 6: Atividades de Planejamento de Processo.....	17
Figura 7: Estrutura de um Programa CN .....	21
Figura 8: Definição dos métodos de planejamento de processo convencional .....	24
Figura 9: Distribuição típica dos tempos no planejamento de processo.....	25
Figura 10: Dois grupos de formas de representação de peças.....	27
Figura 11: Representação paramétrica de uma peça.....	29
Figura 12: Uma peça modelada com CSG (CHANG, 1990).....	32
Figura 13: Meio-espacos no modelo CSG.....	33
Figura 14: Um modelo B-rep simples .....	35
Figura 15: Uma estrutura em forma de asa, uma estrutura de faces e uma estrutura de vértices. ....	36
Figura 16: Uma face com seus loops internos e externos e uma representação esquemática de uma estrutura de loop. ....	38
Figura 17: Uma operação local; a criação de uma aresta seguida pelo <i>sweep</i> (movimentação, varredura) de uma face. ....	39
Figura 18: Um sólido que se intercepta criado por uma operação local. ....	40
Figura 19: Uma operação booleana que destrói o modelo B-rep. ....	41
Figura 20: Modelagem paramétrica de um eixo escalonado.....	43
Figura 21: Uma peça decomposta em features de projeto (Design Features) e features de usinagem (Machining Features) (HUMMEL, 1990). ....	45
Figura 22: Tipos de CAPP.....	49
Figura 23: Vantagens e Desvantagens do CAPP variante.....	51
Figura 24: Vantagens e desvantagens do CAPP generativo automático.....	55
Figura 25: Localização do planejamento generativo interativo .....	57

Figura 26: Vantagens e Desvantagens do CAPP interativo.....	59
Figura 27: Solução CAPP híbrida .....	60
Figura 28: Tipos de conhecimento no planejamento do processo (ROZENFELD, 1992).....	62
Figura 29: Relação entre a complexidade do CAPP e a complexidade da descrição da peça.....	63
Figura 30: Concepção básica do CAPPE .....	68
Figura 31: Representação esquemática da concepção do PART .....	74
Figura 32: Dicionário de Variáveis do CAPPE.....	86
Figura 33: Conceituação de Recursos e Classificação no CAPPE.....	87
Figura 34: Alterações no modelo de dados do CAPPE para suporte a features.....	89
Figura 35: Alterações no modelo de dados para suportar a existência de fórmulas ...	91
Figura 36: Tela inicial do sistema de classificação .....	98
Figura 37: Tela principal do gerenciador de features .....	99
Figura 38: Inserindo um novo feature no gerenciador de features.....	100
Figura 39: Ligando variáveis a um feature .....	101
Figura 40: Selecionando variáveis para ligá-las a um feature .....	102
Figura 41: Variáveis ligadas a um feature.....	103
Figura 42: Tela inicial do sistema de classificação. ....	104
Figura 43: Criação de uma classificação.....	105
Figura 44: Ligando parâmetros a uma classificação.....	106
Figura 45: Um feature inserido em uma classificação .....	107
Figura 46: Tela principal do sistema de classificação.....	108
Figura 47: Inserindo um item em uma classificação.....	109
Figura 48: Preenchendo os parâmetros de um feature. ....	110
Figura 49: Tela principal do sistema de cálculo de fórmulas .....	111
Figura 50: Tela principal do sistema de cadastro de fórmulas.....	112
Figura 51: Editando uma fórmula .....	113
Figura 52: Relacionando as variáveis de uma fórmula a uma variável do dicionário	114
Figura 53: Relacionando o resultado de uma fórmula a uma variável de um recurso	115

Figura 54: Variável de recurso relacionada a fórmula.....	116
Figura 55: Ligação das tabelas e estruturas para formar uma tabela de cálculo completa.....	117
Figura 56: Tela principal de cadastro de estruturas .....	118
Figura 57: Editando ligações de uma estrutura de cálculo. ....	119
Figura 58: Tela principal para cadastro de tabelas .....	120
Figura 59: Editando os valores de uma tabela .....	121
Figura 60: Alimentando uma tabela com um valor .....	122
Figura 61: Desenho CAD executado automaticamente a partir do GRP .....	123
Figura 62: Exemplo de uma bronzina típica .....	125
Figura 63: Lista dos features disponíveis.....	131
Figura 64: Parâmetros de um feature .....	132
Figura 65: Definição de uma classificação.....	133
Figura 66: Produtos classificados e detalhe dos parâmetros de um produto.....	134
Figura 67: Tela do GRP apresentando uma parte das classificações existentes .....	135
Figura 68: Parâmetros de uma ferramenta.....	136
Figura 69: Calculando os parâmetros de uma ferramenta. ....	137
Figura 70: Dados da classificação de uma ferramenta.....	138
Figura 71: Desenho de uma ferramenta executado automaticamente no CAD .....	139
Figura 72: Lista das fórmulas criadas para cálculo de parâmetros.....	140
Figura 73: Uma das fórmulas de cálculo utilizadas .....	141
Figura 74: Relacionamento da variável da fórmula a uma variável de produto .....	142
Figura 75: Resultado da fórmula retorna em uma variável de uma ferramenta .....	143
Figura 76: Plano de processo de uma bronzina e as ferramentas de uma operação..	144
Figura 77: Recalculando as ferramentas de um plano .....	145
Figura 78: Detalhamentos ligados a uma operação.....	146
Figura 79: Detalhamento tipo plano de qualidade de uma operação .....	147
Figura 80: Detalhamento gráfico de uma operação .....	148
Figura 81: Ativando o comando de troca de status .....	149
Figura 82: Opções para troca de status disponíveis. ....	150

## RESUMO

Kerry Jr., H.T.K.; Planejamento de processo automático para peças paramétricas. São Carlos, 1997, Dissertação (Mestrado)- Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

O CAPP (Computer Aided Process Planning) atua sobre o planejamento de processo assim como o CAD atua sobre o projeto, e tem assumido cada vez mais importância para balancear os esforços de integração da manufatura. Mesmo em posição estratégica, a aplicação de sistemas CAPP não é muito difundida, devido à sua história de tentativas de automação do raciocínio humano e a sua complexidade. Neste trabalho será apresentado o desenvolvimento e aplicação prática de um sistema CAPP automático para peças paramétricas, onde o automatismo é focado no uso de algoritmos e fórmulas matemáticas para cálculo de ferramental do processo e geração automática de ilustrações para auxílio ao chão-de-fábrica.

Palavras-chave: Planejamento de processo, planejamento automático, planejamento do processo assistido por computador, CAPP, peças paramétricas.

## **ABSTRACT**

Kerry Jr., H.T.K.; Automatic process planning for parametric parts. São Carlos, 1997, Dissertation (Master Degree)- São Carlos Engineering School, University of São Paulo.

The CAPP (Computer Aided Process Planning) acts on process planning as CAD (Computer Aided Design) acts on part design, and has acquired more and more importance to balance the manufacturing integration efforts. Despite its strategic position, CAPP systems application is not very large, due to its history of trials to automate human reasoning and its inherent complexity.

In this work the development and practical application of an automatic CAPP system for parametric parts will be shown, where automation is focused on the use of mathematical formulas for process tooling calculation and automatic generation of drafts for helping the shop floor.

**Key words:** Process planning, automatic process planning, computer aided process planning, CAPP, parametric parts.

## ABREVIATURAS e GLOSSÁRIO

CAD - *Computer Aided Design* - designa a tecnologia de projeto assistido por computador

CAE - *Computer Aided Engineering* - designa a tecnologia de engenharia assistida por computador

CAM - *Computer Aided Manufacturing* - designa a tecnologia de manufatura assistida por computador

CAPP - *Computer Aided Process Planning* - designa a tecnologia de planejamento do processo assistido por computador

Chão-de-fábrica- termo que designa o ambiente de produção propriamente dito, com máquinas e operadores.

CIM- *Computer Integrated Manufacturing*- designa a tecnologia de Integração da manufatura por computador.

CN - Programa comando numérico

CNC- Comando numérico computadorizado, conjunto eletrônico que controla os movimentos de uma máquina.

IA - Inteligência Artificial

JIT- *Just in Time*- filosofia japonesa de estoques reduzidos

MRP- *Material Resources Planning*- sistema de apoio ao planejamento de materiais

MRPII- *Manufacturing Resources Planning*- sistema de apoio ao planejamento de materiais e recursos de manufatura em geral.

ERP- *Enterprise Resources Planning*- sistema de apoio a todos os recursos planejáveis de uma empresa.

PCP - Planejamento e Controle da Produção

PDM - *Product Data Management* - gerenciamento de dados de produtos

Plano de Processo - Documento gerado pelo Planejamento do Processo com informações de fabricação

Processista - responsável pela atividade de gerar planos de processos de fabricação

TG - Tecnologia de Grupo

TQC- *Total Quality Control*- Filosofia de qualidade, Controle de Qualidade Total

## 1. Introdução

A produção em massa mudou em sua essência nos últimos 20 anos. Nas décadas de 50, 60 e 70, ela sempre foi dirigida pelos detentores do capital que direcionavam o mercado. Entretanto, os lucros gerados e a capacitação de um maior número de pessoas implicou em um grande número de indústrias, que por sua vez ofereciam ao mercado consumidor um número maior de escolhas. A partir de um certo ponto entre a década de 70 e 80, o mercado tornou-se cada vez mais orientado ao consumidor, e não orientado pelas indústrias. (WANG & LI, 1991).

Para vencer a concorrência acirrada, as indústrias tendiam a oferecer mais variedade em seu conjunto de produtos, o que provocaria uma diminuição no ciclo de vida de seus produtos. Alguns produtos na indústria de software, para citar um exemplo extremo, chegam a ter vida total de 4 meses (SMITH, 1997).

Tal pressão sobre a indústria teve efeito direto sobre a arquitetura das indústrias manufatureiras. Não era mais possível construir uma linha dedicada de fabricação para um produto devido aos seus altos custos e curto tempo de amortização. Atualmente, mais de 90% de todos os produtos manufaturados têm lote de menos de 50 itens (WANG & LI, 1991).

A fabricação em lotes menores requer sistemas de manufatura com alta flexibilidade não apenas nos equipamentos de manufatura, mas também no projeto, planejamento de processo e produção, planejamento de materiais, e assim por diante. Daí nasceram todos os esforços que geraram as conhecidas siglas CAE (Engenharia Auxiliada por Computador - *Computer Aided Engineering*), CAD (Projeto Auxiliado por Computador - *Computer Aided Design*), CAM (Manufatura Auxiliada por Computador - *Computer Aided Manufacturing*), CAPP (Planejamento do Processo Auxiliado por Computador - *Computer Aided Process Planning*), FMS (Sistema Flexível de Manufatura - *Flexible Manufacturing System*), CIM (Integração da Manufatura por Computador - *Computer Integrated Manufacturing*), MRP



(Planejamento de Materiais- *Materials Resource Planning*), MRPII (Planejamento da Manufatura- *Manufacturing Resources Planning*), JIT (*Just in Time*), TQC (Controle de Qualidade Total- *Total Quality Control*) e tantas outras.

A integração da manufatura por computador (CIM) é uma integração de todos os aspectos da manufatura. Em um sistema CIM, a automação flexível de todas as atividades de manufatura é atingida e a coordenação e otimização de todo o sistema é assegurada (WANG & LI, 1991). CIM representa uma das modernas direções de desenvolvimento da manufatura.

A chave para uma implementação de sucesso em CIM, como seu próprio nome diz, é a integração. Todos os componentes do sistema de manufatura, como CAE, CAD, CAM, FMS, CAPP, MRP, MRPII e assim por diante, devem ser integrados.

O CAPP tem um papel fundamental no sucesso de todos os projetos de implementação CIM. Seja através do CAM ou através de instruções fornecidas ao chão-de-fábrica, o CAPP é o elo de ligação entre a concepção do produto e sua execução com sucesso e repetibilidade no chão-de-fábrica.

CAD e CAM já sofreram um processo relativamente longo de desenvolvimento. Algumas de suas técnicas, como representação gráfica tridimensional, modelamento sólido, *ray-tracing*, geração de código CN para diversas máquinas, etc, já foram bem desenvolvidas. Entretanto, somente a partir de meados de 1970 é que começaram a surgir as primeiras pesquisas em CAPP. O valor do CAPP não foi completamente compreendido até a década de 80 (WANG & LI, 1991) .

### ***1.1. Localização do trabalho***

A ênfase na aplicação de computadores na engenharia visa sobretudo a diminuição dos prazos de obtenção das informações técnicas, como: desenhos, lista de materiais, planos de processo, croquis, projeto de dispositivos, etc... Ao mesmo tempo, deve-se obter informações de maior qualidade, evitando-se erros futuros no ciclo produtivo e viabilizando o conceito de qualidade total.

Neste contexto é que se aplicam com sucesso soluções de CAE/CAD/CAM na área de engenharia e agora soluções de CAPP.

O planejamento do processo seleciona e define os processos a serem executados em uma peça de maneira econômica, de acordo com as especificações do projeto.

A sequência de operações com seus tempos são fornecidas ao PCP, para a programação da produção. O documento resultante do planejamento do processo, conhecido como roteiro de fabricação, plano de processo, folha de operações, ciclo operativo, etc..., é a base para que as pessoas no chão-de-fábrica saibam como produzir as peças e equipamentos. Por isso é que se considera o planejamento do processo como o elo de ligação entre o projeto e o planejamento da produção e também o chão-de-fábrica.

A maneira convencional de se obter um plano de processo não atende mais aos requisitos das empresas. Isto fez com que se aplicasse o computador no planejamento do processo.

No entanto, a aplicação de computadores no planejamento do processo não acompanhou o desenvolvimento das outras áreas técnicas, por necessitar de soluções mais específicas que as anteriores.

Isto causou um descompasso nos setores de engenharia, tornando o planejamento do processo um gargalo, pois a evolução do emprego de técnicas computacionais deve ser harmônica.

Muitos dos problemas técnicos existentes em CAD e CAM são muito complicados e de difícil solução, entretanto sua grande maioria é determinística e envolve um limitado número de fatores. O CAPP, quando visto pela ótica do automatismo total, envolve muitas decisões tecnológicas de dificuldade substancial, e os relacionamentos entre estas decisões são intrincados. Para piorar, muitos problemas organizacionais e técnicos não são determinísticos, e alguns dos processos de decisões somente podem ser determinados através de métodos experimentais.

Nos últimos anos, muitos trabalhos de CAPP foram desenvolvidos ao redor do mundo, entretanto apenas alguns são realmente aplicados na indústria. Tal desvio entre número de trabalhos realizados e número de aplicações utilizáveis reside principalmente na complexidade envolvida nos problemas de planejamento de processo e no enfoque dado a automação total de todas as fases do planejamento.

A existência de soluções CAPP viáveis torna-se cada vez mais importante no que tange a CIM, quando a harmonia entre as soluções é essencial. A melhor maneira de se implantar CIM é através do desenvolvimento de soluções individuais em setores restritos, realizando-se projetos de racionalização específicos e limitados, baseados em um planejamento global da concepção CIM da empresa (ROZENFELD, 1992).

Nos últimos dois anos, entretanto, estão surgindo no mercado mundial diversas soluções CAPP e publicações que apontam para um caminho de maior interatividade com o usuário em áreas onde o conhecimento ainda não está completamente resolvido (não-determinístico), e, onde o conhecimento pode ser resolvido através de métodos determinísticos, ocorre a intervenção de programas que resolvem tais problemas (VAN ZEIR et al, 1997), (KRUTH et al, 1996), (ROZENFELD, 1992),(CIMTELLIGENCE, 1997),(CIMX, 1997).

Sob este enfoque, este trabalho procurará mostrar o desenvolvimento de uma solução de CAPP baseada em um núcleo flexível que permite expansão para automatizar determinados problemas na área de planejamento de processo.

### *1.2. Objetivos*

Neste trabalho objetiva-se:

- Desenvolver uma revisão bibliográfica sobre planejamento de processo e CAPP;
- Demonstrar que um sistema CAPP deve ser abrangente para resolver os mais diversos tipos de processos;
- Demonstrar que a automação de problemas de planejamento de processo deve ser empregue em casos específicos e portanto desenvolvida especificamente;
- desenvolver um módulo de planejamento generativo automático para peças paramétricas e aplicá-lo em um caso prático, a fim de demonstrar que peças paramétricas oferecem um bom campo para aplicação de CAPP;
- Mostrar uma aplicação prática da proposta.

### *1.3. Conteúdo*

O capítulo 2 apresentará uma breve revisão bibliográfica sobre os conceitos de planejamento de processo e planejamento de processo por computador, fornecendo as

bases para no capítulo 3 analisar-se os requisitos para o desenvolvimento de um CAPP para peças paramétricas. No capítulo 4 propõe-se um sistema de planejamento de processo híbrido que resolve alguns dos problemas de planejamento de processo em peças paramétricas automaticamente, e finalmente nos capítulos 5 e 6 mostra-se a implementação de um sistema que atende os requisitos e sua aplicação prática em uma conhecida empresa do ramo metal-mecânico.

## **2. Planejamento de Processo por Computador**

Neste capítulo será realizada uma breve revisão bibliográfica sobre os conceitos de planejamento de processo convencional, para então partir-se para as representações geométricas das peças, base sobre a qual o CAPP pode construir um plano de processo. Segue-se então para uma análise mais detalhada dos métodos de planejamento por computador e as soluções existentes de CAPP.

### ***2.1. Plano de Processo***

O plano de processo é o documento que reúne todas as informações necessárias para transformar o desenho do produto (resultado da concepção) em um produto acabado em uma determinada planta fabril. Cada empresa tem necessidades diferentes de documentação de processo, conforme a realidade de seu chão-de-fábrica, tanto em termos de equipamentos quanto em termos de seu pessoal.

Apesar da diversidade existente de planos de processo, pode-se identificar pelo menos um conjunto de informações comuns a todos eles: o plano macro, ou seja, a seqüência de operações executadas no ambiente fabril, que especifica a rota pela qual a peça sendo fabricada deverá passar. A partir deste documento central, diversos outros podem ser anexados conforme as necessidades da empresa, como por exemplo um plano de qualidade, um plano de preparação da máquina, uma lista de ferramental a ser montado, instruções para execução da operação, etc. Normalmente tais documentos são anexados as operações definidas no plano macro, e são chamados de detalhamentos. Veja a figura 1.

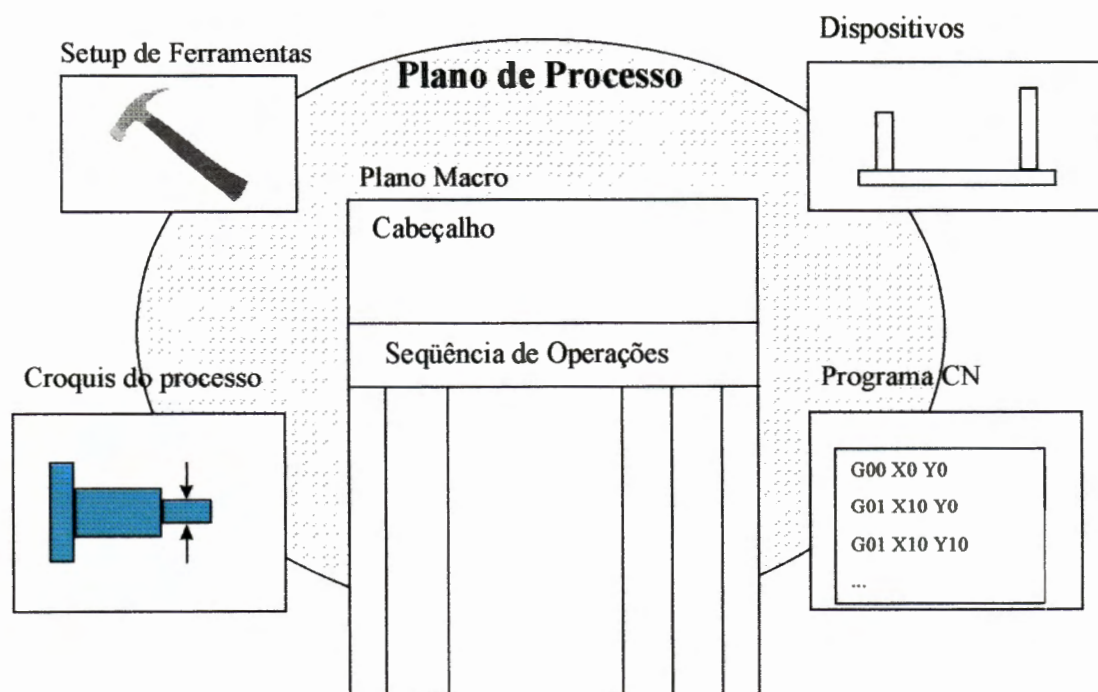


Figura 1: O Plano de Processo.

Portanto, normalmente um plano de processo possui 2 níveis de detalhamento (ROZENFELD, 1994):

- Plano de Processo Resumido ou Macro (*Process Plan*) - Este documento apresenta um resumo das operações, equipamentos necessários e tempos de fabricação. Esta etapa do planejamento do processo tem como função básica obter as informações necessárias ao PCP.
- Detalhamentos (*Operation Plan*) - A etapa de detalhamento visa enriquecer os operadores e preparadores de máquinas com todas as informações necessárias à fabricação de um produto. Deste modo, consegue-se atingir um nível de qualidade e produtividade dentro das necessidades planejadas pela engenharia. Dentre os tipos de detalhamentos, encontram-se os croquis de fabricação, controle e preparação de máquinas e ferramentas, instruções de qualidade, preparações, sub-operações e qualificação de operadores, listas de ferramentas, fotos, vídeos, dentre outros.

Os fatores que influenciam a definição da complexidade do plano de processo são:

- Tipo de Utilização;
- Tipo de Informação e
- Tipo de estrutura do plano (ROZENFELD, 1992)

Esses fatores são interdependentes e de difícil determinação. Um plano de processo pode ser utilizado em qualquer combinação de ambientes fabris (usinagem, forjaria, fundição, montagem, inspeção, calderaria, soldagem, entre outros), e normalmente dentro de uma mesma empresa coexistem estes diversos ambientes. Conforme as necessidades de informação de cada aplicação determina-se as informações necessárias e sua estruturação, levando em conta uma padronização para manter-se a estrutura do plano uniforme entre as várias áreas.

Na figura 2 mostra-se esquematicamente alguns tipos de plano de processo. O grau de complexidade do plano normalmente acompanha o tamanho da empresa e seu grau de sistematização. Encontraremos portanto em empresas de pequeno porte planos de processo mais simples, contendo por exemplo somente informações sobre as máquinas pelas quais o produto deve passar, se a empresa for um pouco mais sistematizada, é comum encontrar-se lista de ferramentas especificadas por operação. Em empresas de grande porte, o detalhamento e sistematização aumentam consideravelmente. Normalmente encontram-se anexados a cada operação folhas de preparação de máquina, folhas de preparação de ferramental, folhas de registro de CEP (Controle Estatístico do Processo), instruções ao operador, instruções de preparação da peça, instruções quanto ao nível de conhecimento necessário a execução da operação (*operator's skills list*), e assim por diante. Em alguns casos em que há muita informação, os detalhamentos podem ser novamente detalhados, criando um terceiro nível de detalhamento. São conhecidos casos onde pode-se chegar a 18 tipos de documentos diferentes anexados a uma operação macro.

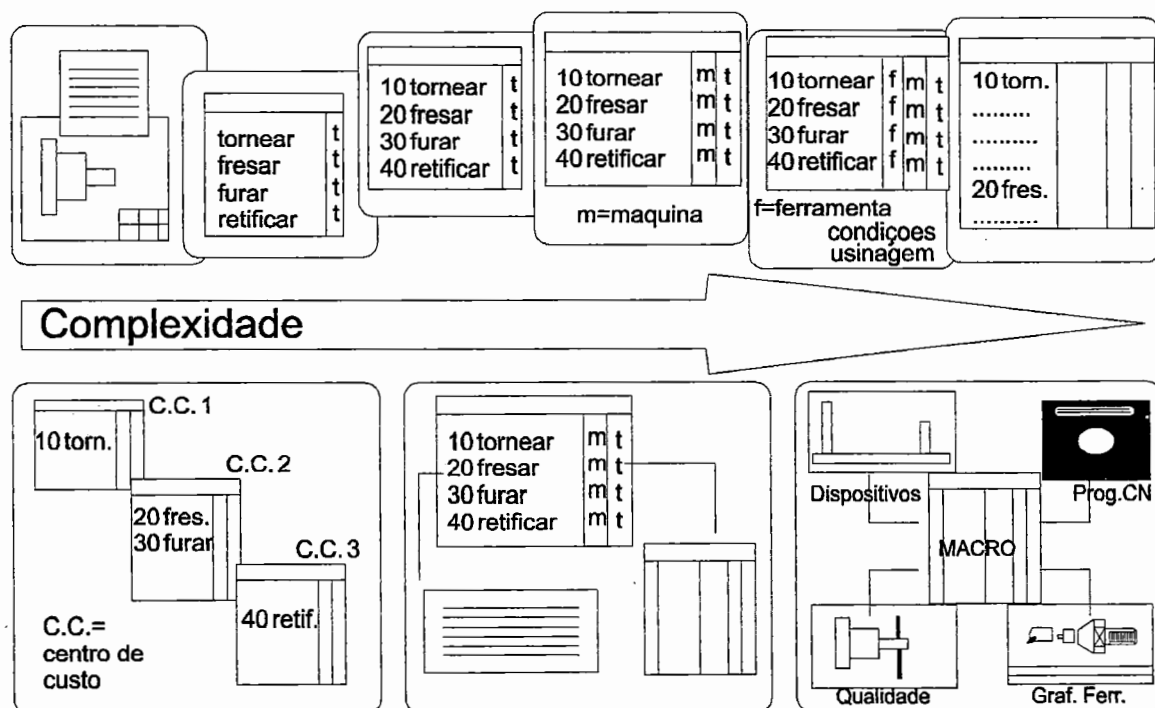


Figura 2: Tipos de Planos de Processo

A determinação do nível de complexidade do plano de processo é bastante intrincado. Há autores que quantificam o tempo ótimo a ser empregue em planejamento, por exemplo para o caso de produção orientada a pedidos de pequeno lote (*job shop*). A figura 3 é conhecida representativa do compromisso entre tempo de planejamento e tempo de usinagem (que influi diretamente no custo), ou seja, o tempo de usinagem é inversamente proporcional ao tempo de planejamento (HALEVI & WEILL, 1995)



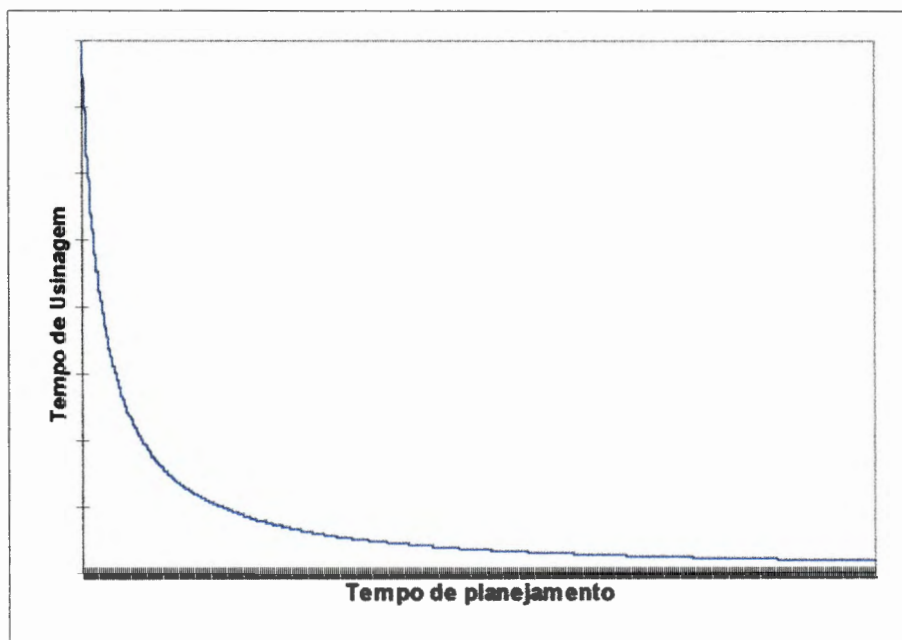


Figura 3: Tempo de Usinagem em função do tempo de planejamento

De maneira geral, a partir na observação acima, pode-se afirmar qualitativamente que existe um nível ótimo de detalhamento do plano de processo, que está diretamente ligado ao tempo de planejamento (ROZENFELD, 1992). Observa-se que quanto mais se planeja, menos tempo se perde no chão-de-fábrica em busca de informações e tomada de decisões, influenciando-se diretamente sobre o custo de fabricação.

A definição do nível ótimo de detalhamento do plano de processo depende de diversos fatores, como por exemplo qualificação do operário e do processista, complexidade e custo da peça, tipo de produção e equipamento, tipo de ferramental (ROZENFELD, 1992), assim como complexidade do fluxo de informações, distância entre os complexos fabris, número de pessoas envolvidas na geração do documento e sua manipulação, entre outros.

Não existe metodologia que forneça o nível ideal de detalhamento para um caso genérico, o nível de detalhamento normalmente surge da contraposição das necessidades de informações de cada setor fabril e necessidade de diminuição de circulação de papel, juntamente com a experiência pessoal do setor de processos.

## ***2.2. Planejamento Convencional***

“O planejamento de processo determina como um produto deve ser manufaturado, e é portanto um elemento chave no processo de manufatura. Ele tem um papel fundamental na determinação do custo dos componentes a serem fabricados e afeta todas as atividades fabris, competitividade da empresa, planejamento da produção, eficiência da produção e qualidade do produto. É uma ligação crucial entre o projeto e a manufatura.” (HALEVI & WEILL, 1995)

“ O nascimento de um produto é sempre precedido pela concepção de uma idéia. Esta idéia será sub-sequencialmente expressada em termos de requisitos funcionais. Em engenharia mecânica, a tradução dos requisitos funcionais para representações que descrevam os componentes do produto em termos de formas precisamente definidas e materiais é chamado ‘Projeto’. A implementação física dos componentes é chamada de ‘manufatura’. Para permitir a implementação física, as representações de forma e material devem ser mapeadas às possibilidades de processos de manufatura e recursos. Esta é a tarefa do ‘planejamento de processo’” (HOUTEN, 1991)

“É a sistemática para determinação de métodos, pelos quais um produto será fabricado o mais eficaz e economicamente possível” (ALTING & ZHANG, 1989)

Pelo visto acima, há uma variedade de definições do que é planejamento de processo. Entre todas as existentes, nota-se que o planejamento é essencial para o sucesso empresarial em um mundo competitivo.

O planejamento de processo pode ser quebrado em duas atividades principais: o planejamento macro e o detalhamento das operações-macro geradas. Abaixo detalhar-se-á tais atividades.

Conforme o tipo e complexidade da empresa, o planejamento completo pode ser feito por apenas uma pessoa (processista) ou diversas pessoas (planejamento de processo distribuído).

### 2.2.1. Planejamento Macro

O planejamento macro gera um plano de processo macro. O plano de processo macro está normalmente ligado a um produto, e um produto pode ter vários processos-macro, designados como 'planos alternativos', gerados conforme o lote ou o material bruto do produto acabado varie.

Conforme observa-se na figura 4, o plano macro é estruturado em cabeçalho e seqüência de operações.

O cabeçalho contém informações gerais e organizacionais (data de confecção, data de aprovação, data de liberação, responsável pela confecção, responsável pela aprovação, responsável pela liberação, entre outras) e informações relativas ao produto (código do produto, classificação, material, entre outras).

Uma operação descreve o trabalho e atividades que são realizadas em uma estação de trabalho por uma ou mais pessoas, em um centro de custo. (Existem casos em que nos planos macro especificam-se atividades que são realizadas durante a fixação de uma peça ou ferramenta, entretanto tal fato leva a inconsistências no momento do planejamento da produção, e é normalmente provocado por definição incorreta ou muito limitada do nível de detalhamento do plano de processo).

Uma operação normalmente contém informações sobre:

- Número de Seqüência da Operação
- Descrição sucinta da operação
- Máquina em que a operação é realizada
- Tempos de preparação e execução

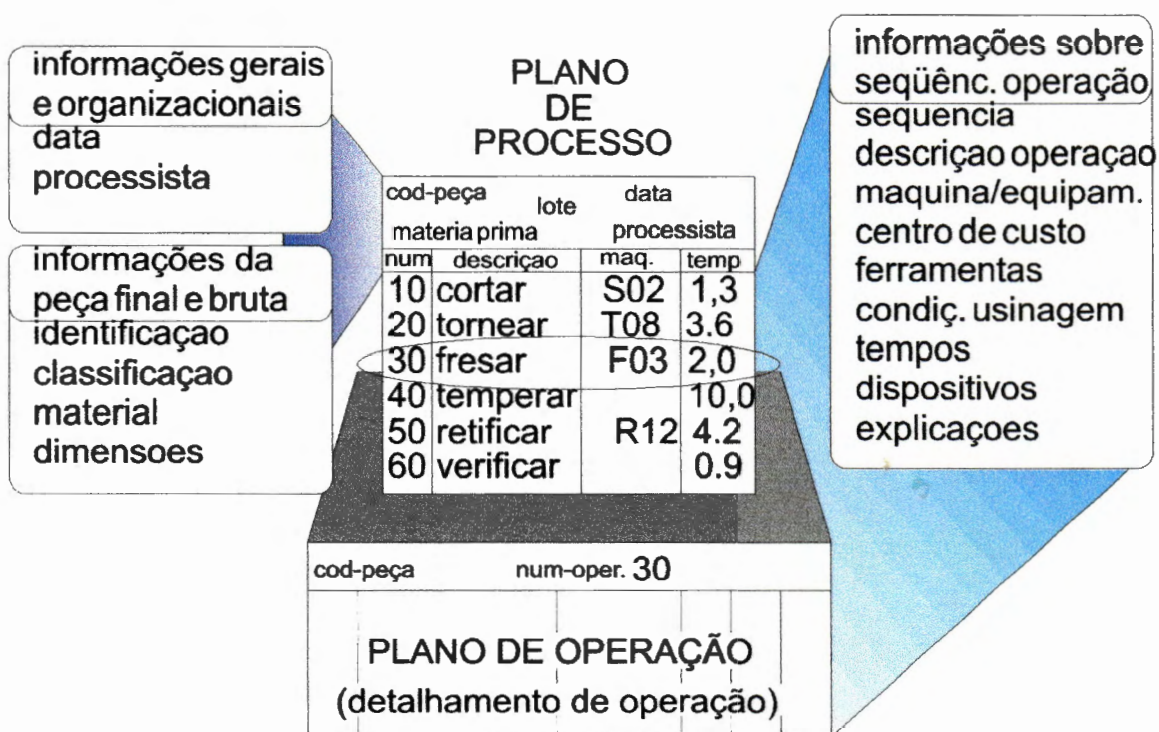


Figura 4: Estruturação das Informações no plano macro

### 2.2.2- Detalhamento de Operações

Uma operação pode ser detalhada com documentos, instruções, gráficos, etc., conforme é ilustrado na figura 5. Tais detalhes são fundamentais para execução estável e repetitiva das operações em ambientes fabris de qualquer porte, entretanto muitas vezes não vale a pena detalhar-se o processo, em função do custo de geração das informações e do tempo maior que tal atividade emprega.

Conforme o tipo de empresa, seu lay-out fabril, seu perfil de pessoal, seus recursos (maquinário, ferramental) e produto usar-se-ão diversos documentos para detalhar uma operação. Seguem abaixo alguns exemplos:

- **Instruções de Preparação de Máquina:** utilizadas onde é necessário informar ao operador instruções específicas sobre a preparação das máquinas, que ficariam mal explicadas somente com uma ilustração. Por exemplo, informações sobre o torque a ser aplicado na fixação de um dispositivo.

- Ilustração de Preparação de Máquina: ilustra graficamente como a máquina deve ser preparada para confeccionar o lote de peças.
- Plano de Qualidade: Informa quais os detalhes críticos de uma determinada operação, seus instrumentos de medição e faixas admissíveis.
- Folha de Preparação de Ferramental: No caso de ferramental complexo ou de montagem externa à máquina, a folha de montagem de ferramental ilustra e instrui como montar a ferramenta e fazer seu *preset* (no caso de máquinas CNC).
- Plano de Sub-Operação: Informa ao operador os detalhes da operação sendo executada, em termos de dispositivos a serem usados, ferramental, velocidades, avanços, e assim por diante.
- Programa CN: a programação CN é na verdade um detalhamento de uma operação de um determinado processo, normalmente não encarada como tal devido ao modo de funcionamento dos programas CAM existentes.

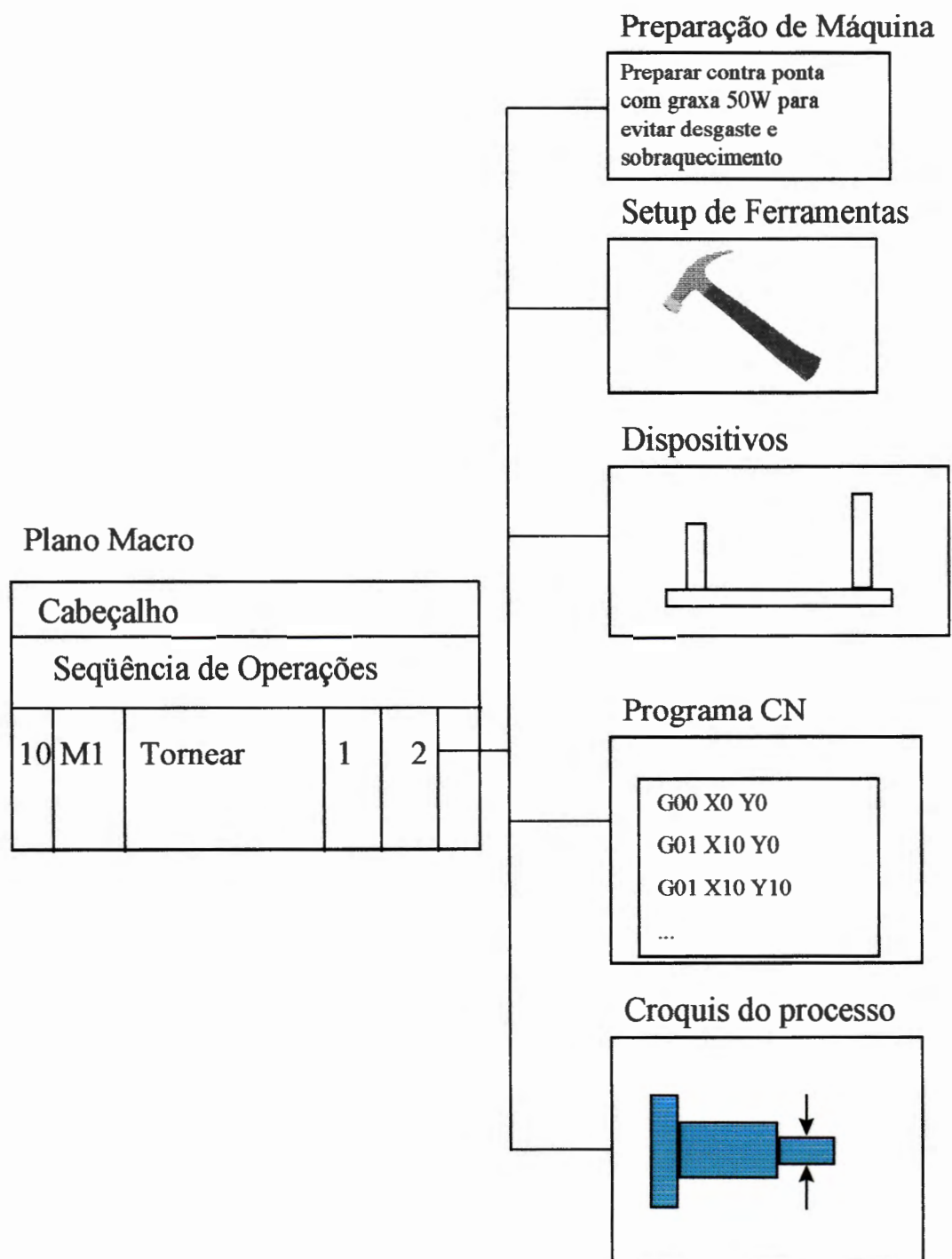


Figura 5: Possíveis detalhamentos de uma operação

### 2.3. Atividades de Planejamento

O planejamento de processo envolve diversas atividades, que ocorrem de maneira concorrente e interdependente. A forma em que estas atividades interagem pode ser

dita como o raciocínio do processista. Ainda não existe modelamento preciso do funcionamento do raciocínio do processista, mas alguns autores concordam que a melhor representação para ele é através de *fuzzy logic*, ou seja, modelagem de raciocínio incerto. Outros ainda afirmam que toda a lógica de planejamento pode ser expressa através de algoritmos bem determinados (HOFSTADTER, 1985).

O consenso geral é que a dificuldade de se modelar o planejamento de processo é muito grande.

Na figura 6 apresenta-se um resumo das atividades de planejamento mais comuns, e logo abaixo explica-se com um pouco mais de detalhe tais atividades. Não é propósito aqui definir-se com grande precisão todas as funções.

Plano de Processos				DETALHAMENTO:			
①		②		operacao=20		①	
No	DESCRICAO	MAQ	TEMP	No	DESCRICAO	FERRCON	TEMP
10	_____	---	---	1	_____	---	---
②0	_____	---	---	2	_____	---	---
30	_____	---	---	3	_____	---	---
40	_____	---	---	4	⑥	---	---
④	③	⑤	⑩	5	_____	---	---
				6	_____	---	---
				7	_____	---	---
				8	_____	⑧	⑨
							⑩

ATIVIDADES= DETERMINACAO/CALCULO DE:	
1. Dados Organizacionais	6. Sub-Operações/Sequencia
2. Peça em Bruto	7. Programa CN
3. Operações	8. Ferramental
4. Sequência	9. Condições de Usinagem
5. Maquinario	10. Tempos

Plano de Processos					
①		②		⑦	
No	DESCRICAO	MAQ	FERRCON	TEMP	
10	_____	---	---	---	
20	_____	---	---	---	
30	_____	⑤	---	---	
40	_____	---	---	---	
④	③	⑤	⑧	⑨	⑩

G91 S200 M04  
 T012 M06  
 G04 X2000  
 G00 X-400 Y-300  
 G01 Y500  
 X7000  
 G00 X-4000

Figura 6: Atividades de Planejamento de Processo

### 2.3.1. Definição dos dados organizacionais

Essa função normalmente é desprezada, pois acontece de qualquer forma. Ela é, todavia, essencial para garantir uma integridade das informações entre projeto e fabricação. Em muitas empresas torna-se um gargalo e fonte de erros, principalmente



no caso de não existir um controle de versões apropriado (ROZENFELD, 92). Através da definição dos dados organizacionais consegue-se “amarrar” o plano com o desenho da peça e evitar redundâncias de armazenamento de planos para o PCP.

### 2.3.2. Determinação da peça em bruto

Normalmente a peça em bruto já vem definida do projeto. Porém, caso só venha especificado o material da peça, o planejamento de processo determina a forma mais apropriada (AGOSTINHO et al, 1978). Essa função é muito importante na fabricação de grandes lotes, onde as peças em bruto são forjadas.

Neste caso procura-se atingir uma máxima capacidade de produção através da menor taxa de remoção possível de cavaco (AGOSTINHO et al, 1978). Por ser uma função que depende de informações de processo é um dos tópicos de análise da Engenharia Simultânea (VALVO et al, 1992).

### 2.3.3. Determinação das operações e sua sequência

Essa função é a mais importante do planejamento de processo. Ela acontece de diversas formas.

Pode-se iniciar com a definição do processo de fabricação e então a definição da operação propriamente dita (ROZENFELD, 1992). Existem 3 fatores que devem ser considerados na determinação das operações:

- Os fatores tecnológicos são determinantes, pois a peça produzida tem que atender às especificações de projeto. Esses fatores incluem a forma e material da peça acabada, a especificação e qualidade da superfície e as tolerâncias e dimensões desejadas.
- Os fatores econômicos limitam a determinação das operações, tais como: lote de peças, dispositivos de fixação, custo hora, etc...
- Os fatores temporais também limitam a determinação das operações, como por exemplo prazos de entrega, capacidade disponível, disponibilidade de material, e assim por diante.

Existem vários raciocínios para a determinação das operações, que dependem do conhecimento do processista. As operações definidas nesta fase impactam de maneira decisiva no custo do produto, pois estabelecem o nível de detalhe com que cada operação deverá ser elaborada e cada equipamento alocado para a operação.

Esta função está intimamente ligada a determinação de equipamentos, através de um processo iterativo.

#### 2.3.4. Determinação de equipamentos

Está intimamente ligada às operações definidas, pois ambas as funções são praticamente realizadas em conjunto. A informação sobre o equipamento necessário é muito importante para se planejar a produção (a curto prazo) e se definir novos investimentos (a longo prazo). A informação sobre equipamento determina o posto de trabalho para a programação da produção.

Os custos padrão de cada posto de trabalho definem o custo da peça e a sua disponibilidade o prazo de entrega (VIEIRA, 1992).

#### 2.3.5. Determinação de sub-operações

Essa função representa um dos tipos de detalhamento das operações, (também conhecido como planejamento de operações) quando estas não são suficientemente precisas para o operador no chão-de-fábrica.

São necessárias naqueles postos de trabalho que normalmente não dispõem de máquinas CN onde são realizados procedimentos complexos (ROZENFELD, 1992).

#### 2.3.6. Determinação de Ilustrações Auxiliares (Croquis)

Os croquis representam outro tipo de detalhamento e são normalmente utilizados em produção de média a alta série para melhorar a estabilidade do processo e sua qualidade, uma vez que a rotatividade de funcionários é alta e sua qualificação normalmente é baixa.

Existem indústrias de baixa série, porém produtoras de peças de alto valor agregado, que empregam croquis para setup de máquina ou indicação de posições de corte críticas.

Os tipos mais comuns de croquis são:

- Croquis de Preparação de Máquina
- Croquis de Preparação de Ferramental
- Croquis de Qualidade (pontos de medição críticos)
- Croquis de Sub-Operação (auxiliar para as informações de sub-operação)
- Croquis de preparação de blank (usado em indústrias que trabalham com corte de chapa)

#### 2.3.7. Programação CN

A programação CN gera um outro tipo de detalhamento de uma operação: o programa CN.

O programa CN informa à máquina CN todas as etapas de fabricação de uma determinada operação de uma peça. Uma linha de comando de um programa CN pode conter informações sobre o movimento da ferramenta (movimento rápido, interpolação, etc...), informações tecnológicas (velocidade, avanço, etc...) ou informações que acionam funções auxiliares (ligar refrierante, fechar a porta, etc...) da máquina CN (MACHADO, 1986).

A obtenção dessas informações depende sobretudo dos dados da peça a ser usinada, considerando-se as limitações da máquina, as características do CNC e da ferramenta escolhida (ROZENFELD, 1992), portanto a programação CN pode ser entendida como a geração de um plano de processo em um escopo mais reduzido, oferecendo dificuldades de grande monta.

Um comando de um programa que aciona uma máquina CN tem a estrutura típica como a

apresentada na figura 6. Há diversos anos que a maioria dos fabricantes de CNC adotam os formalismos prescritos pela norma ISO 6983, conhecida com “códigos G”. (Normas ISO referenciadas em: ISO82, ISO88a e ISO88b)

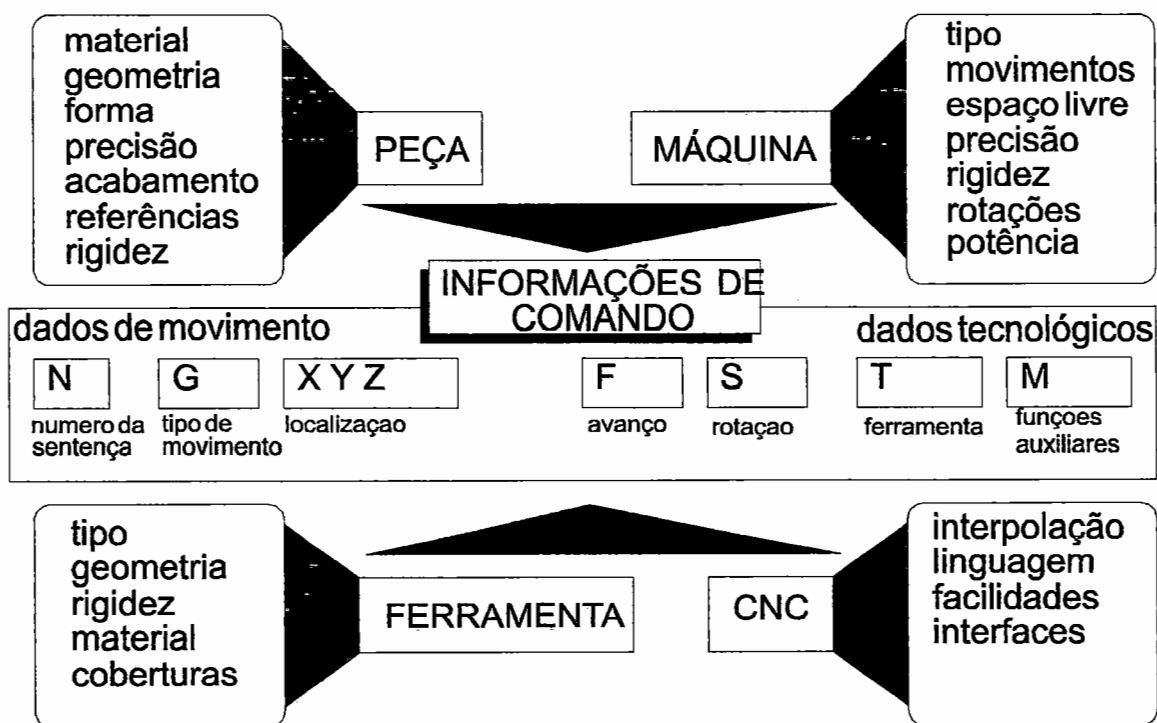


Figura 7: Estrutura de um Programa CN

### 2.3.8. Determinação de Ferramental

O termo “ferramental” abrange os dispositivos de fixação e as ferramentas de produção, que podem ser especiais ou universais.

A determinação do dispositivo de fixação é necessária para garantir a qualidade de fabricação (FERREIRA et al, 1985) em grandes séries, garantindo uma alta taxa de produção (AGOSTINHO et al, 1978). Os dispositivos podem ser especiais, universais e modulares (ROZENFELD, 1992). Esses últimos são cada vez mais utilizados no exterior e muito pouco no Brasil. Eles são apropriados para peças de pequenas dimensões (ROZENFELD, 1992). Os dispositivos universais são aqueles que vêm como acessórios dos equipamentos, tais como: pinças, castanhas, cones, etc. Os dispositivos mais comuns são os especiais, que demandam um tempo de projeto e fabricação, tornando-se muitas vezes o gargalo na fabricação de um lote de peças. A determinação de dispositivos bem antes do planejamento de operações é um dos desafios da Engenharia Simultânea.

A especificação de ferramentas de produção está intimamente ligada à determinação de operações e influencia as demais funções do planejamento de processo. Na aplicação de máquinas CN o gerenciamento de ferramentas torna-se essencial, motivo pelo qual este tema será discutido no capítulo 5.8.

### 2.3.9. Cálculo das Condições de Usinagem

Essa função é mais empregada na usinagem e quando é necessário realizar algum tipo de ajuste no equipamento utilizado. Na maior parte das empresas, essa função cabe ao operador do equipamento, provocando baixa utilização do equipamento (GIRONDI et al, 1988). O cálculo depende essencialmente da ferramenta utilizada e do material da peça. Outros fatores são o acabamento superficial da peça, potência disponível, etc... Em empresas mais organizadas o processista determina essas informações, com base nas informações contidas nos catálogos dos fabricantes de ferramentas. Existe também a possibilidade de se calcular as condições de usinagem a partir de manuais de valores obtidos em ensaios de usinagem, como o Machining Data Handbook (ATKINSON & LINDBERG, 1991). Hoje em dia pode-se acessar Base de Dados de Usinagem, obtendo-se valores resultantes de ensaios sistemáticos. Um exemplo de tal base de dados é o CINFUS (Centro de Informação de Usinagem) desenvolvido pela Universidade Federal de Santa Catarina (BOEHS, 1988).

Em empresas maiores, que trabalham em alta série, o fabricante de ferramentas é consultado e realiza ensaios na própria empresa, com as condições e materiais de trabalho, a fim de estabelecer as especificações que ela necessita. Podem acontecer muitos desvios devido à não homogeneidade dos materiais envolvidos, assim como devido à falta de conhecimento de processo. Uma vez sendo conhecidas as leis fenomenológicas do processo, pode-se pensar em uma automação desta função (EVERSHEIM & KONIG, 1978].

### 2.3.10. Cálculo dos tempos de fabricação

Neste trabalho não se pretende discutir com extensão os métodos de cálculo de tempo de fabricação, os mais usados são MTM (Análise de Micromovimentos -*Method of*

*Time Measurement*), análise de dados históricos de produção e fórmulas matemáticas empíricas. Apesar de alguns autores considerarem fundamental o cálculo de tempos, na maioria das empresas tal função não é realizada, os tempos são determinados com base na experiência individual de cada processista, gerando muitas vezes dados inconsistentes.

Após a definição das operações e máquinas, o cálculo de tempos é a próxima função requerida para se determinar a carga de máquinas e se programar a produção. A determinação de custos é função dos tempos de fabricação calculados (PROENÇA, 1987) (VIEIRA, 1992).

#### 2.3.11. Simulação de Custo Industrial

A simulação de custo é aplicada em algumas empresas de alta série e em poucas de baixa série. Ela consiste em verificar quais alternativas de fabricação são melhores em função do custo que elas oferecem. Por vezes pode-se alterar um plano de processo várias vezes para obter o custo mais interessante, ou então simular-se com diversas alternativas de fabricação.

#### 2.3.12. Outras funções

Outras funções do planejamento de processo acontecem com menos regularidade que as apresentadas e não é do escopo deste trabalho discuti-las. Elas são:

cálculo de sobremetal (WADZ, 1973);

simulação do processo (ROZENFELD, 1992)

análise de valores/consultoria ao projeto (ROZENFELD, 1992)

### 2.4. Características do Planejamento Convencional

O planejamento de processo convencional pode ser classificado em dois métodos : o variante e o generativo, conforme a figura 8 (tal classificação surgiu a partir da aplicação de computadores no planejamento de processo).

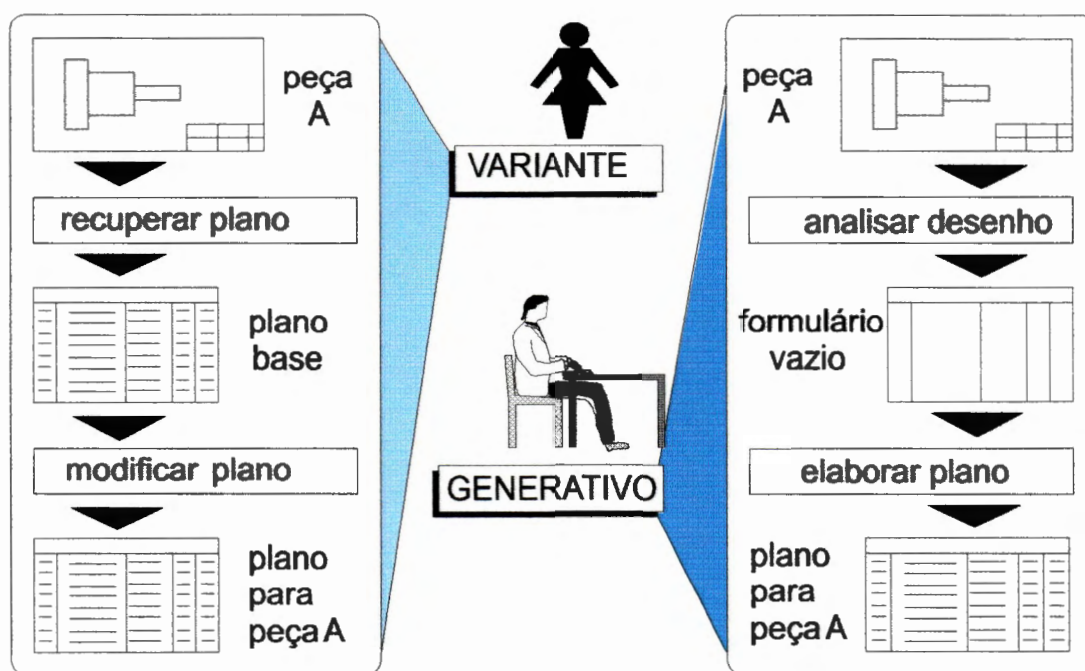


Figura 8: Definição dos métodos de planejamento de processo convencional

No método variante procura-se primeiramente um plano base, que serve como referência para o planejamento de processo da peça desejada (na figura é a peça A). Após sua recuperação, o plano base é modificado, a fim de ser ajustado à peça requerida.

O maior problema do método variante é garantir uma recuperação sistemática do plano base, ou seja, montar um sistema de classificação que permita encontrar as peças que são semelhantes às peças que procura-se. Os sistemas de classificação tradicionais, como Opitz , KK3, MICLASS, DCLASS e HFU geram códigos por demais extensos ou complexos, que são difíceis de ser entendidos. Em ambientes com alta variedade de produtos, usualmente encontram-se diversos planos idênticos pois abandona-se a idéia de se localizar a peça semelhante, devido a complexidade do código.

Através do método generativo gera-se um novo plano de processo para a peça desejada com base no conhecimento do processista.

Em ambos os métodos, observa-se no planejamento convencional que (veja figura 9) somente 30% do tempo do processista é gasto nas funções de definição de operações e sua seqüência. Quando cada uma das funções de planejamento é decomposta em

funções elementares, 63% do tempo é gasto com a redação do plano. Junto a isto, o tempo empregue em cálculos diversos é 21%, ou seja, 84% do tempo é empregue em funções que não agregam valor diretamente, como as funções de concepção e análise. Tais dados foram levantados em uma empresa produtora de máquinas ferramenta alemã (ROZENFELD & MODOLO, 1991), mas se repetem consistentemente em entrevistas informais realizadas no Brasil.

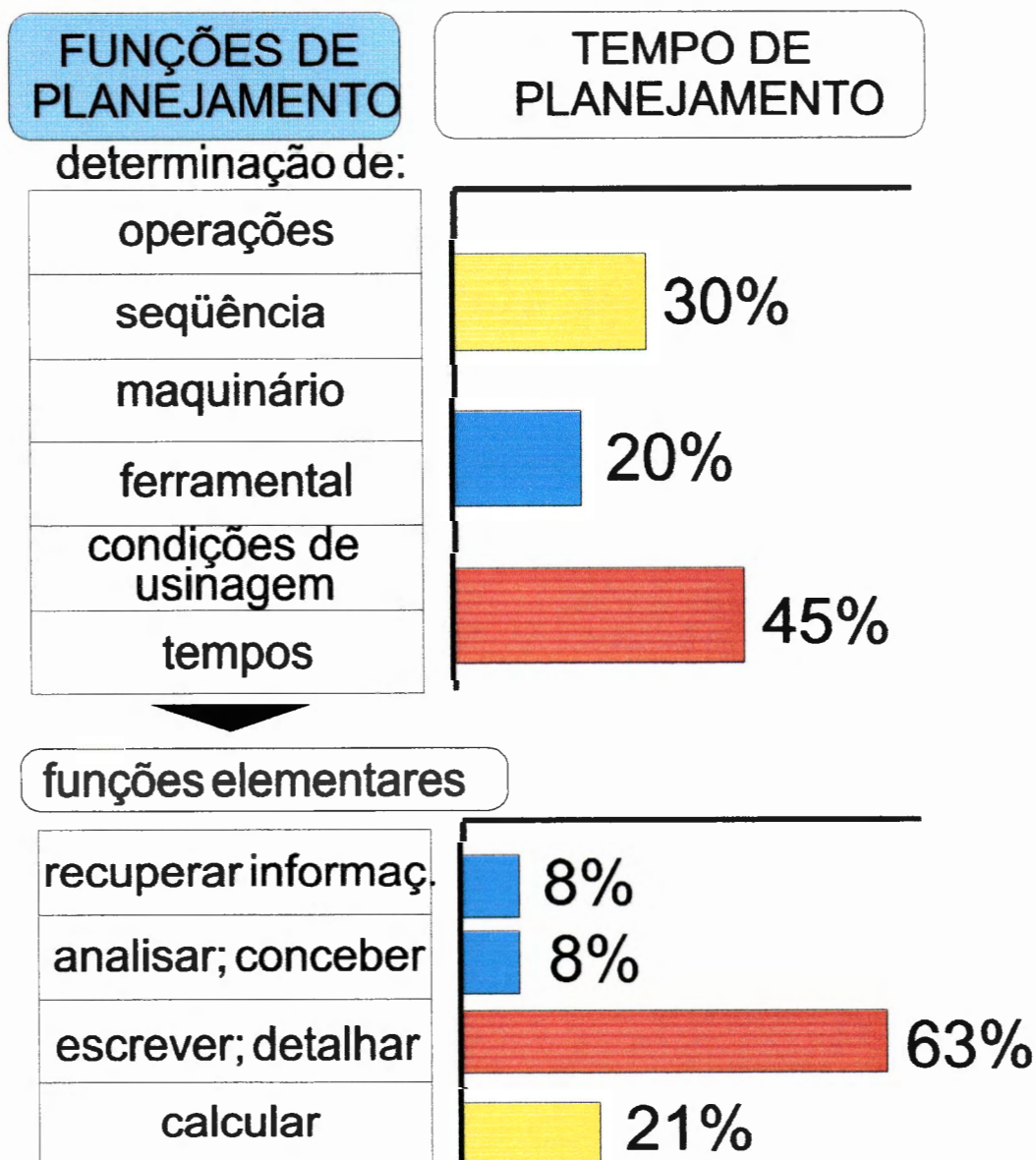


Figura 9: Distribuição típica dos tempos no planejamento de processo



De maneira geral, nota-se no planejamento convencional:

- Ausência de Padrões
- Informação descentralizada (cada processista tem seus próprios métodos)
- Informação despadronizada (cada processista elabora os planos de acordo com padrões próprios)
- Recuperação de planos é complexa
- O controle de revisões dos planos normalmente contém inconsistências
- A produtividade é baixa em relação aos requisitos de mudança e adaptação no chão-de-fábrica.

### ***2.5. Formas de Representação da Peça***

A forma com que cada peça é representada é essencial para o funcionamento dos sistemas CAPP automáticos, pois a partir desta representação o sistema CAPP pode inferir o plano de processo ou seus detalhes. Existem diversas técnicas de representação, divididas em dois grandes grupos (ROZENFELD, 1992): linguagens descritivas e linguagens de representação geométrica (figura 10).

<b>Linguagem Descritiva</b>			
<b>Códigos Tabelas de Atributos</b>	<b>Peça Parametrizada</b>	<b>Específicos</b>	<b>Feature</b>
.Incompleto  .Serve para um número reduzido de peças	.Descrição complexa  .Restrito  .Possibilidade de Integração com CAD	.Sem integração  .Utilizável somente no sistema específico	.Descrição complexa  .Tecnologia ainda em definição  .Apropriado para automação  .Diversas definições  .Difícil adaptação do projetista  .Contém informações tecnológicas
<b>Representação Geométrica</b>			
<b>Modelagem Sólida</b>	<b>Modelagem de Superfície</b>	<b>Wireframe (arame)</b>	
.Inferência complexa  .Não contém definições de atributos tecnológicos	.Inferência complexa  .Processamento complexo .Não contém informação de vizinhança .Não contém informação tecnológica	.Somente para peças simples .Incompleto tecnológica e geométricamente.	

Figura 10: Dois grupos de formas de representação de peças

### 2.5.1. Linguagens Descritivas

Historicamente, as linguagens descritivas foram as primeiras a aparecer. Os códigos TG formaram os primeiros elementos a conter descrições da peça de maneira estruturada, junto com tabelas de atributos, entretanto sua representação da peça para fins de inferência é por demais incompleta. A aplicação de códigos TG para o CAPP apenas se presta em aplicações específicas de CAPP variante e raras aplicações de CAPP automático (engrenagens simples, eixos de poucos escalonamentos, ...). A parametrização de peças apareceu nos primórdios do CAPP automático, foi deixada de lado durante algum tempo e hoje volta a ter uso prático, portanto no item 2.5.1.1 serão apresentados mais detalhes.

Também havia a utilização de linguagens descritivas específicas na representação de peças, quando os sistemas CAD ainda forneciam modelos por demais complexos para inferência, ou não forneciam interface alguma. Tais linguagens foram aplicadas

somente em sistemas específicos e hoje existem em soluções proprietárias de pouca aplicação.

#### 2.5.1.1. Peça descrita de forma paramétrica.

Como supracitado, a parametrização de peças apareceu ainda durante as primeiras discussões sobre o emprego de CAPP automático. Inicialmente, sua descrição era muito complexa e sua aplicação restrita a peças bem específicas.

Nos dias de hoje, entretanto, com a difusão de sistemas gerenciadores de bancos de dados relacionais (RDBMS) baseados em SQL (Linguagem de Pesquisa Estruturada - *Structured Query Language*) e a difusão de sistemas CAD que geram peças paramétricas, tal solução torna-se novamente atual (ROZENFELD, 1992).

Existem duas abordagens para representação de peças de forma paramétrica, a primeira é ligada a descrição geométrica da peça em modelagem CAD, e é descrita no item 2.5.2.3 abaixo.

A segunda abordagem permite a representação de peças paramétricas através de atributos relacionais em uma base de dados SQL. Tal representação é encontrada em diversos produtos no mercado (CimTelligence, CIM-X, CAPPE) e tem por finalidade primordial classificar os produtos em tecnologia de grupo sem necessidade de geração de código específico.

Pode-se criar quaisquer número de variáveis e agrupá-las sob o que se denomina 'característica', e então ligar-se as 'características' criadas às peças pré-existentes. Automaticamente as peças herdam as variáveis que as 'características' contém, permitindo que o usuário preencha as variáveis com os dados específicos de cada peça (figura 11).

Isto permite que peças de grande complexidade sejam representadas, aumentando a abrangência de aplicação desta técnica. Todos os dados ligados às peças estão disponíveis para aplicações externas através de consultas SQL, até para sistemas CAD.

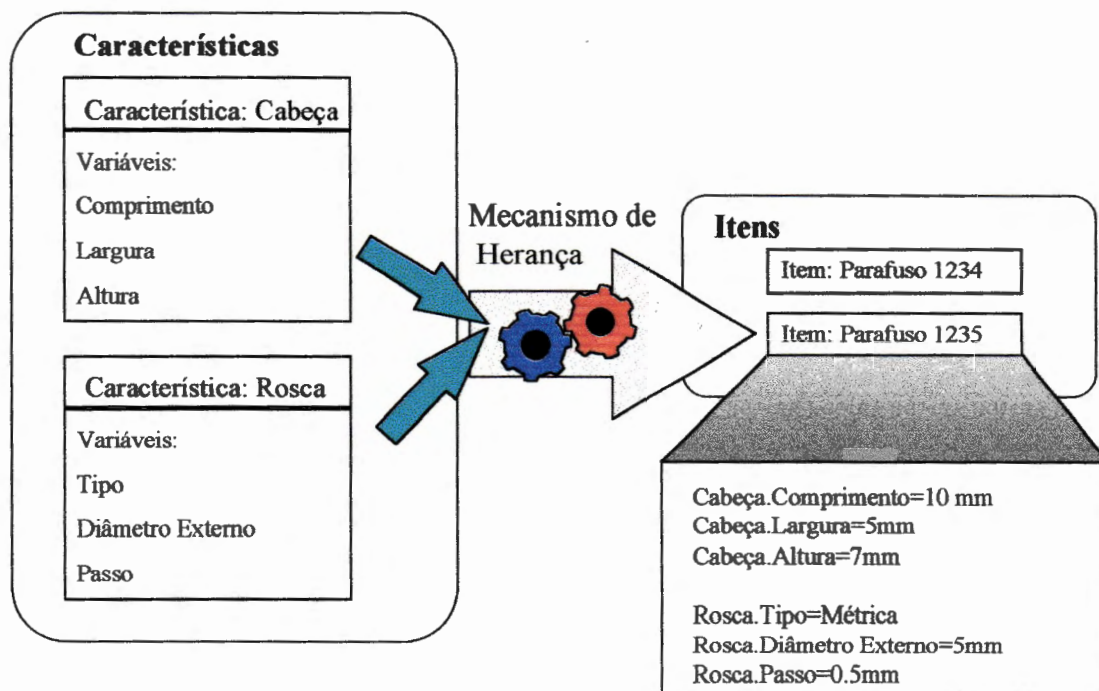


Figura 11: Representação paramétrica de uma peça

Na verdade, tal representação nada mais é do que a aplicação dos recursos computacionais disponíveis nos RDBMS a tecnologia de grupo. Em todas as aplicações analisadas, a parametrização de uma peça consistia basicamente na definição de um código curto (através de menus amigáveis) e definição de atributos ligados a família designada por este código curto, que todos os participantes (peças) herdavam automaticamente.

### 2.5.2. Linguagens Geométricas

Historicamente a primeira forma de descrição de um projeto eram os croquis com perspectivas 3D das peças a serem construídas. A necessidade mais formal de representação fez como sucessor destes croquis os desenhos técnicos, que através de vários conjuntos de vistas 2D representavam os desenhos.

Por volta de 1975 o primeiro sistema CAD 3D tornou-se operacional, usando a representação *wireframe*, que basicamente conseguia ligar linhas entre pontos no espaço 3D. A modelagem *wireframe* 3D permitiu a criação de modelos espaciais e

garantiu a consistência de vistas 2D derivadas e cotação associada. Entretanto, a definição interativa e manipulação de entidades 3D numa tela 2D requeriram a re-educação dos projetistas. O modelo 3D não continha informação sobre a forma de suas superfícies, as quais, como consequência, não podiam ser visualizadas de maneira não ambígua.

As técnicas de modelagem de superfície adicionaram a possibilidade de se definir e analisar formas complexas sem a necessidade de se criar um modelo físico. Isto em particular era relevante para a indústria automotiva e aeroespacial e também permitiram o projeto de moldes e estampos por computador. Os sistemas CAD usando a tecnologia de modelagem de superfície podiam representar vários tipos de superfícies, entretanto tal representação ainda não continha informação suficiente para descrever um objeto de maneira não ambígua, daí surgiu o conceito de modelagem sólida.

O conceito de modelagem sólida oferece algumas vantagens potenciais sobre a modelagem *wireframe* e de superfície, como:

Uma descrição não ambígua da geometria da peça

- A possibilidade de se checar interferência
- Uma maneira mais natural para criar-se modelos de produtos através de operações lógicas em objetos sólidos primitivos (cilindro, cone, paralelepípedo, toro, ...)
- A geração de imagens consistentes dos modelos dos produtos
- Cálculo de áreas de superfícies e propriedades volumétricas, como volume, peso, centro de gravidade, momentos de inércia e torção, ...
- A geração automática de malhas para análise de elementos finitos.
- A possibilidade para usar-se o modelo do produto para geração automática de programas CN.

Em 1973 dois conceitos independentemente desenvolvidos para modelagem sólida foram introduzidos. Ambos os métodos usavam sólidos primitivos, transformações e operações booleanas para criar sólidos mais complexos. Apesar dos sistemas se comportarem aparentemente da mesma maneira, a representação interna do modelo do produto era completamente diferente.

Em TIPS (OKINO & KAKAZU, 1973), a descrição dos sólidos primitivos, transformações e operações constituíam o modelo do produto. A representação TIPS é atualmente chamada de CSG (Constructive Solid Geometry).

Em BUILD (BRAID & LANG, 1973), o modelo do produto consistia de um conjunto de faces do sólido juntamente com a informação topológica em como estas faces, arestas e vértices estão ligados. A representação BUILD é chamada hoje de B-rep (Boundary representation).

A maioria dos sistemas que foram desenvolvidos desde então usam CSG ou B-rep ou ambos. Ambos os métodos tem vantagens e desvantagens. De maneira geral o B-rep tem uma vantagem significativa sobre CSG no que diz respeito a variedade de operações que podem ser usadas para mudar o modelo (HOUTEN, 1991).

Os próximos parágrafos aumentam o detalhe sobre as modelagens CSG e B-rep, também mostrando algumas outras alternativas de representação das peças.

#### 2.5.2.1. Modelagem usando CSG

Um modelo CSG é uma árvore binária constituída de objetos primitivos e operadores booleanos. Os primitivos são representados pelas folhas da árvore e os objetos mais complexos são os nós. A raiz da árvore representa o produto completo. Cada primitivo é associado com uma transformação 3D que especifica a sua posição, orientação e dimensões. Os operadores booleanos que podem ser aplicados são união, interseção e diferença. A especificação da estrutura da operação booleana deve ser feita através de digitação ou através de menus e ícones. O modelo pode ser mudado por alteração dos parâmetros dos objetos primitivos ou através da adição ou remoção de novos nós na árvore. Como não há informação de face, aresta ou vértice disponível explicitamente, geralmente não é possível alterar o modelo localmente de maneira interativa (HOUTEN, 1991). A figura 12 mostra um exemplo de um modelo CSG de um produto.

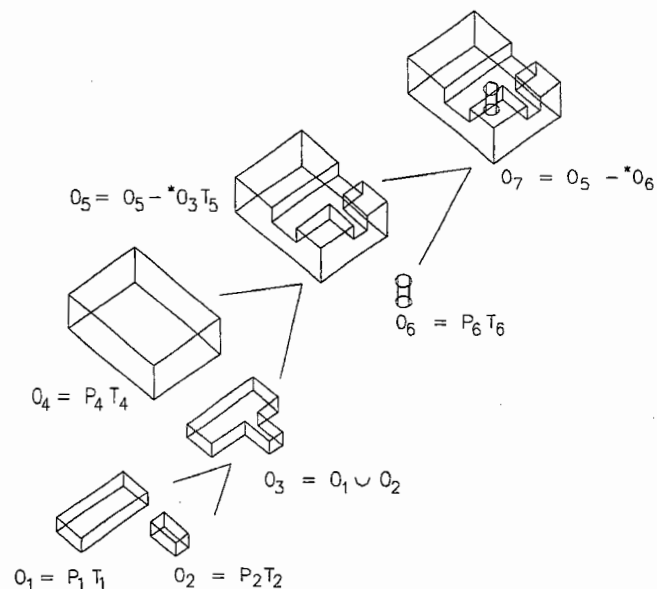


Figura 12: Uma peça modelada com CSG (CHANG, 1990)

Para diferentes finalidades, a árvore CSG tem que ser avaliada de maneiras diferentes. Por exemplo, a avaliação necessária para mostrar o objeto é completamente diferente da avaliação necessária para obter propriedades de volume.

As aplicações que fazem uso de modelos CSG devem derivar todas as informações necessárias dos objetos primitivos e da árvore com seus operadores. Um importante benefício do CSG é que a história de modelagem é mantida com o modelo.

Entretanto, devido a grande variedade de maneiras que podem ser usadas para criar um modelo de um produto, um modelo CSG não é único.

Em adição aos primitivos sólidos, a especificação TIPS usava meio-espacos como objetos primitivos (figura 13). Um meio-espaço é uma superfície infinita que divide o espaço 3D em uma região sólida e em uma região vazia. Meio-espacos podem ser definidos por equações de superfície. Um cubo, por exemplo, pode ser construído por seis meio-espacos planos. Teoricamente toda superfície e portanto todo objeto pode ser modelado desta maneira, mas na prática esta técnica está limitada ao número de algoritmos de intersecção disponíveis. O número de algoritmos de intersecção é mais do que proporcional  $(n(n-1)/2)$  ao número de primitivos com tipos de face diferentes.

Portanto o número de primitivos é normalmente limitado (HOUTEN, 1991). As primeiras implementações de modeladores sólidos tinham como base apenas o bloco e o cilindro. Isto era insuficiente para uso industrial, e em 1982 foi lançado o primeiro modelador com aplicação prática na indústria, incorporando objetos de superfícies quádricas (PADL-2).

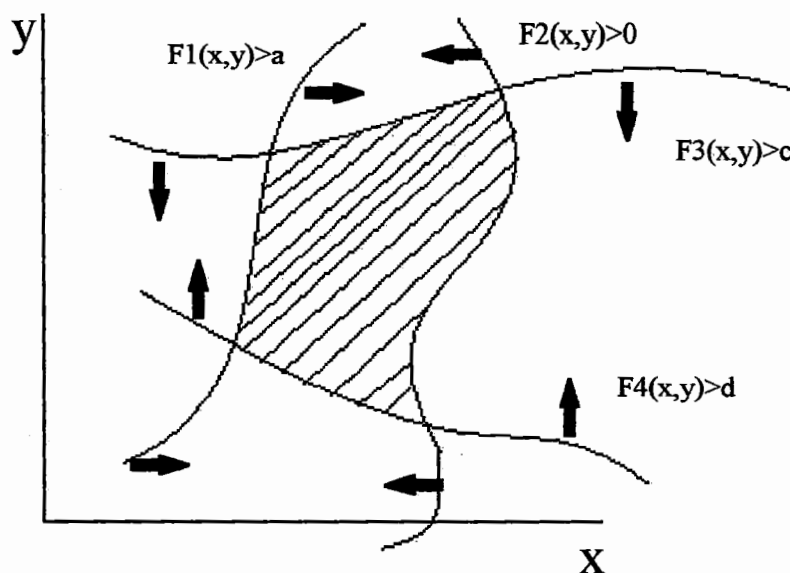


Figura 13: Meio-espacos no modelo CSG

Para resumir, as vantagens do CSG sobre B-rep são (HOUTEN, 1991):

- CSG tem uma estrutura de dados mais simples de manusear.
- Um modelo CSG sempre corresponde a um sólido fisicamente válido.
- Um sistema usando CSG como representação interna normalmente provê a facilidade de gerar B-reps e pode portanto suportar uma grande variedade de aplicações.
- Devido ao fato de que o CSG define o processo de modelagem e não a forma do modelo, este pode facilmente modificar um modelo CSG simplesmente alterando as operações booleanas, as transformações ou as primitivas.

As desvantagens do CSG são:



- A presença de apenas um conjunto limitado de operações e primitivos.
- O cálculo de *wireframes* e imagens renderizadas de modelos CSG por algoritmos de projeção de luz tomam tempo, porquê os elementos que estão na borda do modelo (recebendo a luz) não estão explícitos e tem que ser calculados antes que possam ser mostrados.

#### 2.5.2.2. Modelagem usando B-rep

A técnica de modelagem B-rep é baseada nas técnicas de modelagem de superfícies anteriormente existentes. A primeira geração de modeladores B-rep representava objetos sólidos apenas por tabelas de faces, arestas e vértices. A figura 14 mostra um modelo B-rep simples.

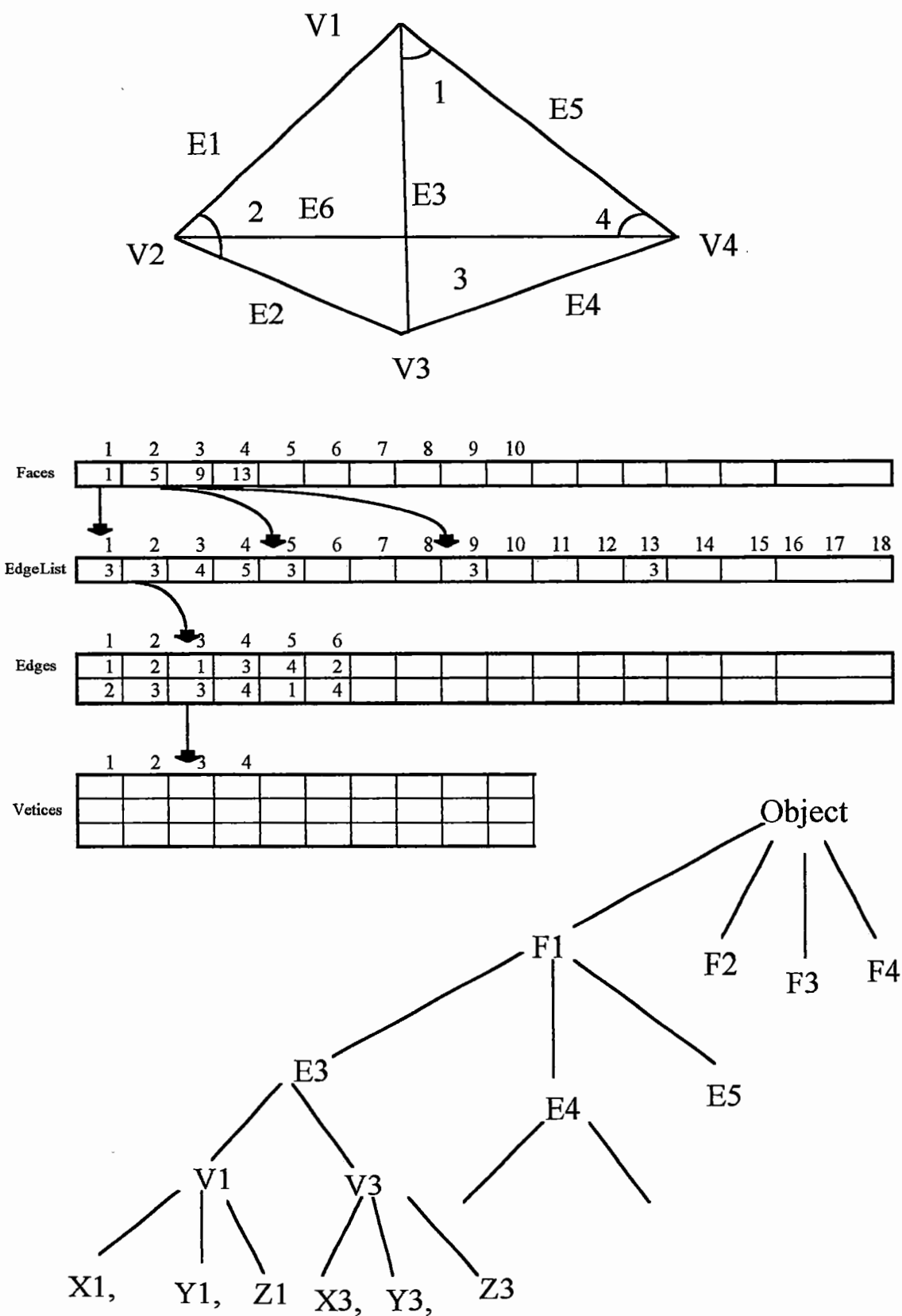


Figura 14: Um modelo B-rep simples

A tabela de faces guardava informação sobre todas as arestas que eram ligadas às faces do modelo. A ordem em que cada aresta era dada determinava qual lado da face representava a parte exterior do sólido (Quando vendo uma face de fora do sólido. Por convenção, a ordem era anti-horária). A tabela de vértices continha dois vértices para cada aresta do modelo. A tabela de arestas continha dois vértices para cada aresta do modelo. Na tabela de vértices as coordenadas XYZ de cada vértice eram armazenadas. A informação topológica contida nas tabelas era de difícil acesso. Por exemplo, era difícil recuperar quais faces se encontravam em uma aresta específica ou quais arestas encontravam um vértice específico.

A estrutura em forma de asa, que foi introduzida por Baumgart e usada no sistema GEOMED, influenciaram o desenvolvimento de modeladores B-rep. Sua representação do modelo, que ainda é usada na maioria dos sistemas atuais, consiste de três tipos diferentes de estruturas: estruturas em forma de asa (estrutura-asa), estruturas de face e estruturas de vértice (veja a figura 15).

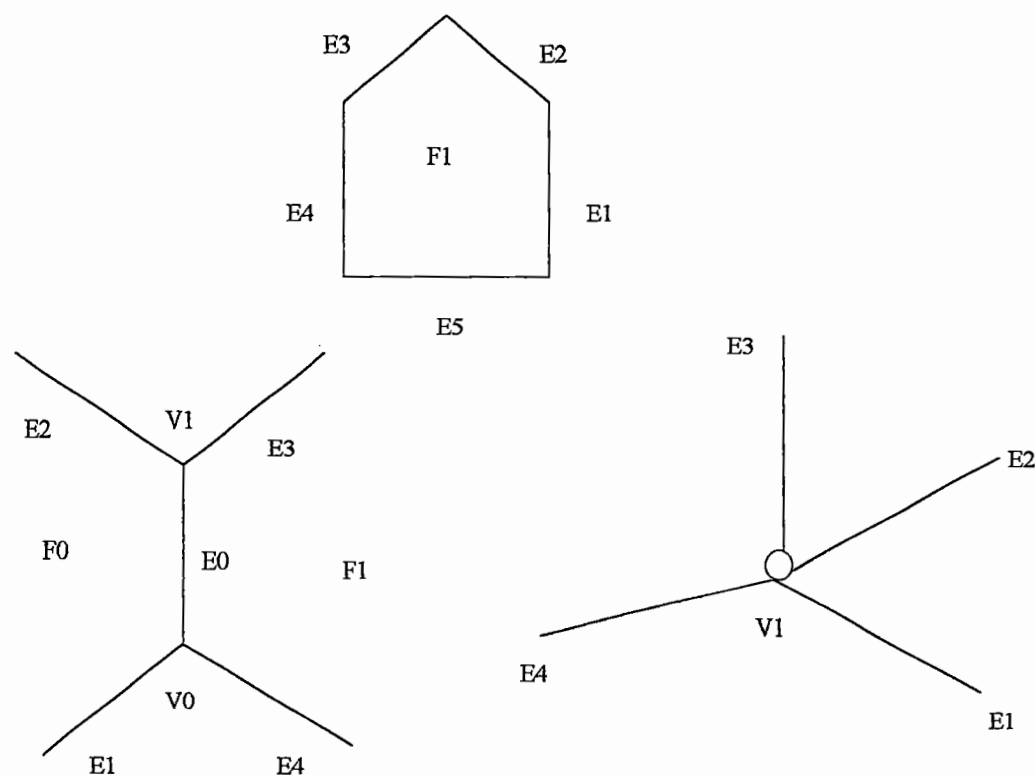


Figura 15: Uma estrutura em forma de asa, uma estrutura de faces e uma estrutura de vértices.

Para cada aresta, uma estrutura-asa guarda as arestas adjacentes, as duas faces que tem a aresta em comum e os dois vértices que circundam a aresta. Para cada face, a estrutura de face guarda as arestas que estão ligadas a face. Para cada vértice, uma estrutura de vértices guarda as arestas que estão ligadas ao vértice e as coordenadas do próprio vértice. A introdução desta representação resolveu o problema mencionado acima, tornando-se muito mais fácil checar-se os relacionamentos topológicos entre as faces, arestas e vértices (HOUTEN, 1991).

Na década de setenta outros modeladores B-rep, como GEOMAP (HOSAKA et al, 1974), COMPAC (SPUR & GAUSEMEIR, 1975) e GLIDE (EASTMAN & HENRION, 1977) foram desenvolvidos. A maioria dos modeladores B-rep de primeira geração somente suportavam objetos com faces planas. Superfícies curvas eram modeladas por aproximação linear, num processo chamado 'facetamento'. A precisão do modelo é definida pelo seu criador no estágio de seleção dos objetos primitivos e não pode ser alterada depois que operações tenham sido aplicadas a eles. Uma operação booleana em dois sólidos requer que todas as faces de um sólido sejam cheçadas quanto a interseção com todas as faces do outro. O tempo de cálculo é proporcional ao produto do número de faces de ambos os objetos. Isto representa uma limitação prática no que diz respeito a precisão de objetos facetados. Apesar da técnica de facetamento ser suficientemente precisa para visualização, ela não é adequada para CAM e outras aplicações. A segunda geração de modeladores B-rep incluiu objetos primitivos com superfícies analíticas, como cilindros, esferas, cones, etc. Elas permitem a criação de modelos muito mais complexos com geometria 'exata'. A modelagem B-rep exata requer algoritmos de interseção muito mais complexos. As operações booleanas consomem muito tempo e não são sempre confiáveis, devido a precisão aritmética limitada.

Em 1975, Baumgart desenvolveu as 'Operações de Euler'. Estas operações podem adicionar e apagar faces, arestas e vértices de acordo com a fórmula de Euler-Poincaré para objetos sólidos ( $V-E+F=2$ ) (HOUTEN, 1991). O conceito de B-rep foi estendido por Braid para representar furos em sólidos (BRAID, 1979). Este método considera a face como uma área finita em uma superfície. As fronteiras da face

consistem de um loop externo e zero, um ou mais loops internos. Para representar estes loops, Braid introduziu a chamada estrutura de loops e modificou as estruturas de face e aresta. A estrutura de loop guarda a face da qual o loop faz parte bem como uma das arestas do loop. Todas as estruturas de loop que são relacionadas a uma face particular são ligadas através de uma ligação uni-direcional (veja figura 16).

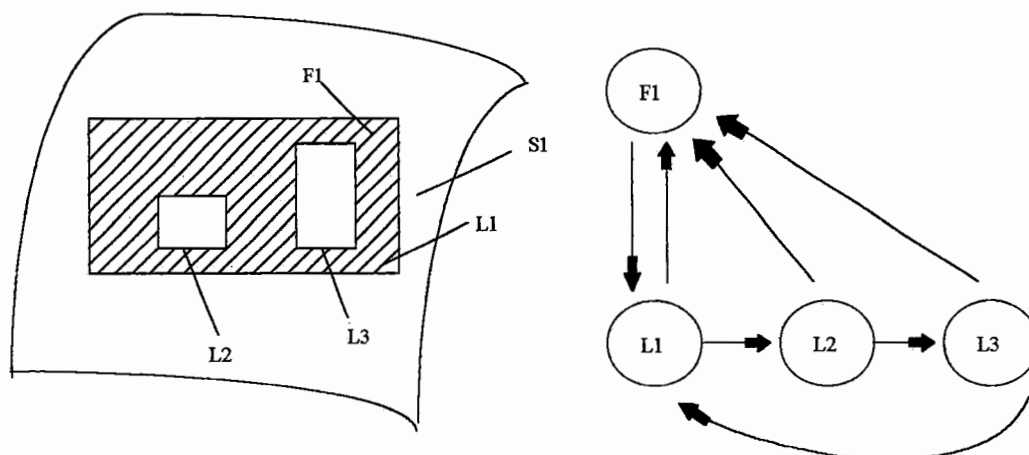


Figura 16: Uma face com seus loops internos e externos e uma representação esquemática de uma estrutura de loop.

A estrutura de face guarda todos os loops de uma face. A estrutura-asa guarda os dois loops ao invés das duas face das quais a aresta faz parte. Esta representação foi implementada no modelador BUILD2.

Uma das primeiras versões comercialmente disponíveis de modeladores B-rep foi entregue em 1979 (ROMULUS). Ela foi desenvolvida por um grupo de pessoas que trabalharam anteriormente no modelador BUILD. Ela herdou os conceitos do BUILD e GEOMED mas tem uma arquitetura diferente. ROMULUS usa a técnica da modelagem exata. É possível criar objetos do tipo arame e folha (tipos de faces) de loops de arestas que podem ser subsequentemente movimentadas em varredura (*sweep*) para criar sólidos. Os *sweeps* podem ser usados como primitivas sólidas. Informação como acabamento de superfície, espessura de folha, roscas, etc. Podem ser associadas com o modelo sólido como atributos definidos pelo usuário.

ROMULUS também foi disponibilizado como um núcleo modelador e foi incorporado em alguns sistemas CAD como CAD-X, GRAFTEK e UNICAD (HOUTEN, 1991).

Em 1980, Braid desenvolveu o ‘método de construção passo a passo’, uma extensão às operações de Euler. Presentemente, este método é referido como a aplicação de ‘operações locais’. As operações locais podem modificar B-reps pela criação, eliminação ou modificação de arestas e *sweeping* das faces (veja figura 17).

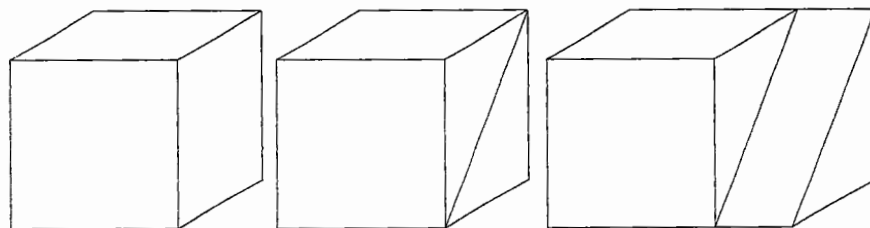


Figura 17: Uma operação local; a criação de uma aresta seguida pelo *sweep* (movimentação, varredura) de uma face.

Em muitos casos, isto é preferido ao invés de uma operação booleana, porque verificações de interferência globais normalmente não são requeridas.

Conseqüentemente, o tempo de cálculo não depende da complexidade do modelo.

Uma desvantagem das operações locais é que sólidos que se interceptam podem ser criados (veja figura 18). A topologia de um modelo sólido que foi submetida a operações locais ainda pode atender a fórmula de Euler, mas somente pode ser garantido que ele é um sólido válido com uma verificação global de interferência.

Operações locais são específicas para B-rep e a maioria delas não tem equivalência em CSG.

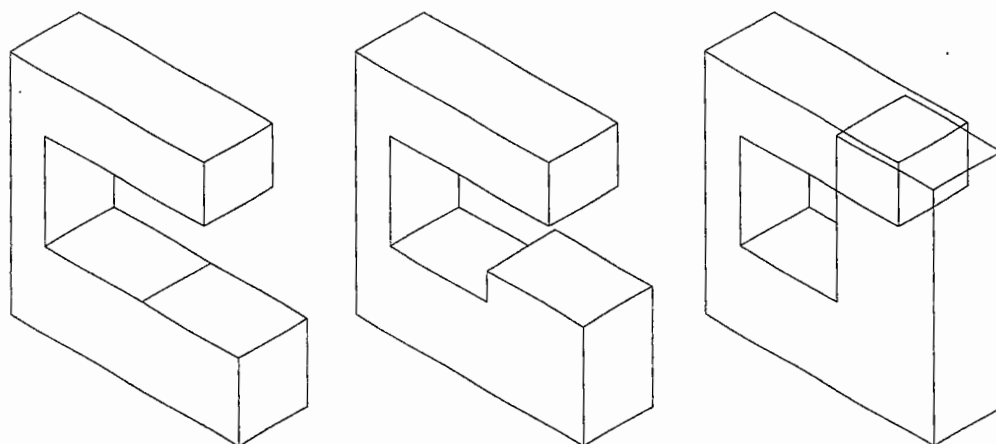


Figura 18: Um sólido que se intercepta criado por uma operação local.

Outros desenvolvimentos em modelagem B-rep foram dirigidos a melhorias na efetividade de operações booleanas através de, por exemplo, o uso de diretórios de ocupação espacial, o que reduz o número de verificações de interferência de face. Uma outra área de desenvolvimento foi a expansão do número de formas geométricas que podem ser modelados com B-rep (KIMURA, 1984).

As vantagens do B-rep sobre CSG são (HOUTEN, 1991):

- Figuras *wireframe* de modelos B-rep podem ser gerados rapidamente devido ao fato de que todas as arestas são armazenadas explicitamente. Relações topológicas podem ser verificadas rapidamente.
- Uma grande variedade de operações sobre o modelo estão disponíveis, o que torna versátil a geração de modelos complexos.

As desvantagens do B-rep são:

- As estruturas de dados são grandes e o seu gerenciamento é difícil.
- Pequenas modificações nos modelos através de operações booleanas pode ser tedioso. A redução do diâmetro de um furo requer uma operação de união que completa o furo, seguida de uma nova interseção com um cilindro de um diâmetro menor. No CSG, o mesmo pode ser obtido

simplesmente através da alteração do diâmetro do objeto primitivo.

Operações locais podem às vezes reduzir a quantidade de trabalho.

- Operações locais podem resultar em sólidos inválidos

Uma desvantagem tradicional do B-rep é a possibilidade de se destruir um modelo irreversivelmente através de uma operação errônea (veja figura 19).

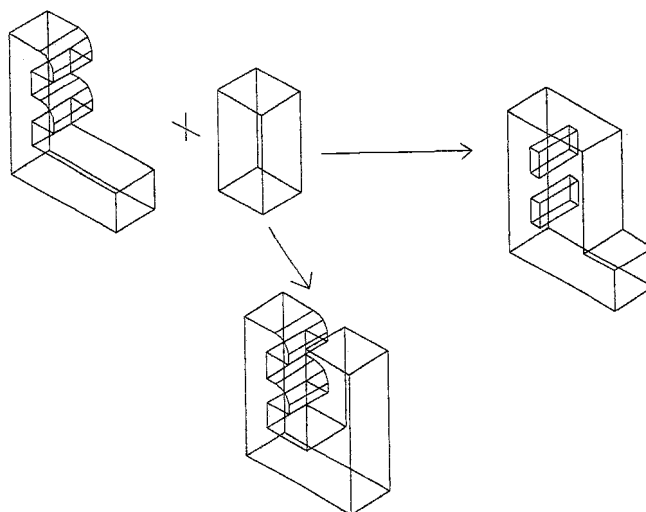


Figura 19: Uma operação booleana que destrói o modelo B-rep.

Um remédio para isto pode ser aplicar uma seqüência de operações que compense as conseqüências do erro. Entretanto, isto nem sempre é possível. Uma alternativa é manter uma história de todos os comandos que foram dados durante a criação do modelo. Esta lista pode ser usada para regenerar o modelo até a operação que provocou o erro. Uma terceira possibilidade é salvar todos ou os mais recentes estados intermediários do modelo. No caso de modelos grandes, isto pode implicar em grande consumo de espaço. Outra alternativa é implementar todas as operações primitivas de maneira que elas possam ser revertidas através de operações de 'undo' (desfazer) (CHIYOKURA, 1988).

A última geração de modeladores B-rep incorpora NURBS (*Non-Uniform Rational B-splines*) para modelamento paramétrico de curvas e modelamento de superfícies. GEOMOD e ACIS são exemplos de tais modeladores. ACIS é um núcleo modelador



que foi desenvolvido por alguns dos desenvolvedores do BUILD. Ela é escrita em C++ e tem funções sofisticadas de desfazer/refazer que permitem altas velocidades nas funções de 'undo/redo' dos CADs usuários. ACIS combina as técnicas de *wireframe*, modelamento sólido e de superfície em uma única estrutura. Ele permite o uso de superfícies explícitas e paramétricas. Junto com operações booleanas e operadores de varredura (*sweep*), ele suporta o operador de 'fatiamento' (*slice*) que retorna um corpo *wireframe* representando o caminho de interseção entre dois sólidos. Ele suporta atributos definidos pelo usuário que podem ser usados para modelar tolerâncias, restrições e primitivos de maior nível. O modelador também suporta interfaceamento com outros pacotes geométricos para cálculos de curvas e superfícies.

Nas versões presentes dos principais modeladores sólidos a maioria dos problemas originais de modelagem sólida foi resolvida. A maioria deles mantém uma história de modelagem através da combinação de CSG e B-rep. Estes modeladores híbridos são capazes de modelar objetos complexos. Entretanto, sua operação ainda reflete muito da sua estrutura interna e penalizam o usuário com procedimentos e limitações que atrapalham a função de projetar. Isto novamente disparou o desenvolvimento de sistemas de modelagem mais amigáveis.

#### 2.5.2.3. Modelagem Paramétrica

A modelagem paramétrica permite que se crie modelos de produtos com dimensões variacionais. As dimensões podem ser ligadas através de expressões. Ligações bidirecionais entre o modelo e o esquema de dimensionamento permite regeneração automática de modelos depois de mudanças nas dimensões e atualização automática das dimensões relacionadas. Desta maneira, um modelo de produto flexível pode ser criado.

Na figura 20 vê-se um modelo de um eixo escalonado em que a dimensão do diâmetro menor depende da dimensão do diâmetro maior através da equação mostrada ( $D_{\text{menor}} = D_{\text{maior}} / 2$ ). Caso a dimensão do diâmetro maior seja alterada, a dimensão do diâmetro menor é automaticamente alterada. Caso a dimensão do eixo menor seja

alterada, a dimensão do eixo maior pode ser automaticamente calculada pela inversa da função de relacionamento.

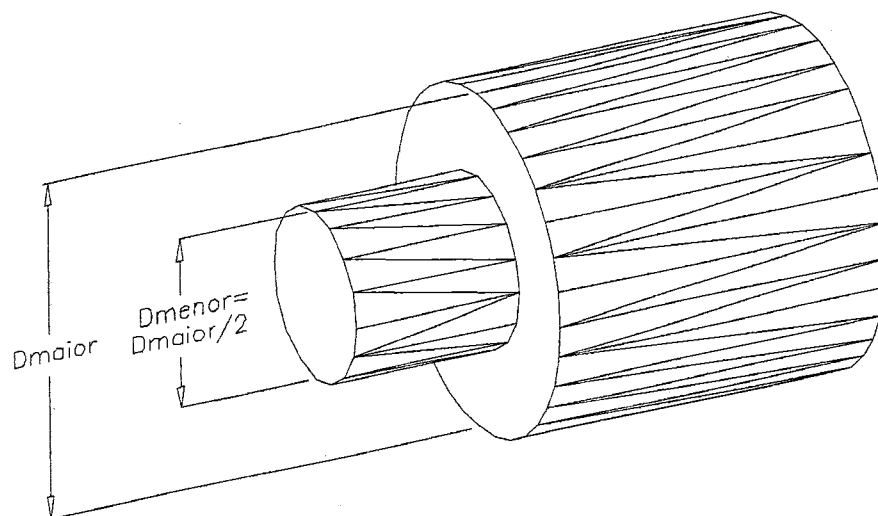


Figura 20: Modelagem paramétrica de um eixo escalonado

Nem todos os sistemas CAD paramétricos provêm esta bi-direcionalidade, devido a complexidade que isto envolve, o que pode penalizar o projetista, pois este tem que pensar na estruturação das ligações dimensionais antecipadamente, sem o que a alteração do modelo pode implicar em que ele seja refeito.

O I-DEAS é um dos sistemas CAD que suporta a bi-direcionalidade, e o Pro-Engineer suporta apenas ligações mono-direcionais. Ambos são baseados em B-rep e permitem modelagem baseada em features com um conjunto limitado de features primitivos que podem ser combinados para formar 'features do usuário' mais complexos.

#### 2.5.2.4. Modelagem baseada em Features

Um feature (característica, que não será traduzido devido ao amplo uso desta palavra) de engenharia é: "Um elemento físico de uma peça que tem algum significado para a engenharia"(CAM-I, 1989). Ele deve satisfazer as seguintes condições (SHAH, 1990):

- Ser um constituinte físico de uma peça
- Ser mapeável para uma forma geométrica genérica
- Ser tecnicamente significativo (do ponto de vista da engenharia).
- Ter propriedades predizíveis.

As formas genéricas de features podem ser formalizadas em forma canônica. Elas podem ser descritas através da combinação de parâmetros genéricos e listas de entidades geométricas e topológicas.

O significado técnico de um feature pode envolver a função à qual um feature serve, como ele pode ser produzido, que ações a sua presença deve iniciar, etc. Features podem ser pensados como 'primitivas de engenharia' relevantes a alguma tarefa de engenharia.

Features constituem peças, que por sua vez constituem montagens. Os atributos dos features, que determinam as características do feature, podem ser especificados em qualquer nível da hierarquia do produto, em diversos níveis de abstração. Se os features forem úteis nos níveis mais altos de abstração do processo de projetar, definições de features abstratos devem ser permitidos, Mas há uma restrição: os features definidos abstratamente devem se tornar constituintes físicos de uma peça sempre que a informação sobre eles for completada. Para completar a definição de uma forma, todos os parâmetros de uma dimensão devem ser especificados. Deve ser possível fazer-se diversos tipos de raciocínio em definições incompletas ou abstratas de features.

A modelagem de features é baseada na idéia de se desenhar com 'blocos de construção' (tradicionalmente chamado de *building blocks*). Ao invés de se usar formas analíticas como paralelepípedos, cilindros, esferas e cones como primitivos, o usuário cria o modelo do produto usando primitivos de maior nível que são mais relevantes para sua aplicação específica. Esta abordagem deveria fazer com que os sistemas de modelagem sólida ficassem mais fáceis de serem usados. Entretanto, o conjunto fixo de features oferecido pela geração atual de modeladores baseados em features é muito limitada para uso industrial, com exceção talvez do novo CAD

lançado pela Matra Datavision, o Euclid Quantum, baseado em STEP e possuidor de uma linguagem orientada a objetos para definição de features (CAS.CADE).

Quase todas as tentativas de se forçar os projetistas a se restringirem ao uso de um conjunto fixo de 'blocos de construção de projeto' falharam. Como mencionado antes, o mapeamento das funções do produto para elementos de forma não é tão simples e genericamente não pode ser feito em uma relação um para um. Mesmo nos casos onde o mapeamento um para um pode ser feito, ele não acontece. Isto dá uma mensagem clara de que o princípio restritivo não tem apelo aos projetistas. É comum ter-se um sentimento (estético) de que projetos ganham qualidade pela integração de funções e formas. Desde que os features fazem parte das peças, eles variam de uma peça para outra. Por exemplo, muitos features de chapas de metal não serão relevantes para peças usinadas ou de material composto e vice-versa. Como consequência, a biblioteca de features utilizada deve variar de peça para peça, e por vezes na mesma peça são utilizados features de duas bibliotecas diferentes.

A composição e decomposição de peças em termos de features também varia de aplicação para aplicação (HUMMEL, 1990) (veja figura 21).

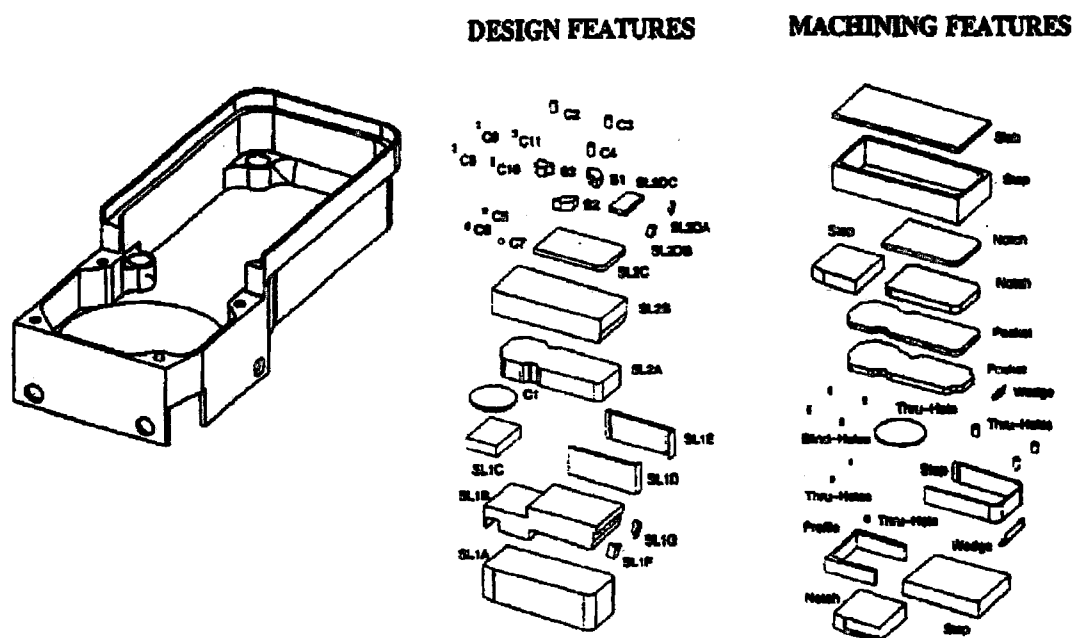


Figura 21: Uma peça decomposta em features de projeto (Design Features) e features de usinagem (Machining Features) (HUMMEL, 1990).

Conforme a aplicação do projeto, seja análise de tensões ou geração de código CN, determinados conjuntos de features são mais úteis. No caso da geração de código CN (e também para programas CAPP), os features mais úteis são os features de usinagem, conforme a figura 21, entretanto, não é comum um projetista pensar em termos de features de usinagem.

A primeira técnica de modelagem baseada em features foi a DSG (Geometria de Sólidos Destrutivos - *Destructive Solid Geometry*). Na verdade a DSG era um subconjunto do CSG que usa somente o operador de diferença. Features de usinagem (volumes criados pela varredura de ferramentas) são subtraídos de um blank. O projeto e sequenciamento básico do plano de processo são desenvolvidos simultaneamente através da transformação do blank na peça. Esta abordagem foi seguida por outros pesquisadores (CUTKOSKY et al, 1988) (TURNER & ANDERSON, 1988). Todos os sistemas usaram um conjunto de features pré-definido.

Outro método é a síntese através de features sem partir do blank. Protótipos baseados nesta abordagem foram desenvolvidos por muitos pesquisadores (CHUNG et al, 1988) (SHAH et al, 1988) (REQUICHA, 1989) (EMMERIK, 1990).

Nos primeiros protótipos de modeladores baseados em features eles eram fixos. Eles eram dependentes da aplicação e eram posicionados em um sistema de coordenadas globais. Sistemas subsequentes suportaram features genéricos que podem ser pré-definidos pelo usuário. A definição é especificada em termos de regras e procedimentos para:

- Instanciação e edição de features
- A geração de modelos sólidos
- A derivação de parâmetros
- A validação de operações de features

Nestes protótipos o posicionamento dos features é relativo e em alguns casos controlado por mecanismos sofisticados de dependência (SHAH et al, 1988) (EMMERIK, 1990).

A maioria dos pesquisadores se concentra em modelagem baseada em features com B-rep. Deve-se isso a que o CSG básico, que é baseado somente em primitivos sólidos, não provê uma base apropriada para modelagem baseada em features. Apesar de permitir especificações de features de maneira rápida e amigável, que sempre leva a um modelo válido, ele sofre de:

- Representação não única
- Dificuldade de referenciar elementos geométricos interativamente
- Ausência de operações locais de forma
- A impossibilidade de se especificar atributos diferentes para faces diferentes de um objeto primitivo (por exemplo, a rugosidade de um cubo teria que ser igual em todas as faces).

O dilema mais importante de modelagem baseada em features é que muitos métodos diferentes podem ser usados para sintetizar-se peças a partir de features. Isto implica que o número de features possíveis é virtualmente infinito. Ficou claro que os features devem ser adaptáveis aos usuários e que a biblioteca de features deve ser extensível (SHAH & ROGERS, 1988) (SHAH & ROGERS, 1988). Entretanto, isto pode complicar a troca de modelos entre sistemas CAD diferentes, bem como entre programas CAD idênticos e diferentes aplicações.

Os esforços de para especificação formal de uma linguagem de especificação de features iniciados em 1990 proporcionaram que a versão mais nova do STEP incluísse features definíveis pelo usuário através de uma linguagem padrão de especificação de features.

### ***2.6. Métodos de planejamento por computador***

Conforme mostrado no início deste capítulo (2.2), o planejamento de processo é essencial ao funcionamento das empresas, entretanto, conforme notado no item 2.4, as características do planejamento convencional terminam por caracterizar esta função como um gargalo na empresa.

O computador tem contribuído com sucesso na resolução de diversos problemas de engenharia como CAD, CAE e CAM, e isto torna-se uma das principais razões para

se aplicar computadores na resolução de problemas de planejamento de processo, de outra maneira, sem o uso de computadores, o fluxo das informações torna-se desarmônico na empresa.

Abaixo listam-se as principais razões para a aplicação de computadores no planejamento de processo (ROZENFELD, 1992):

- Outros utilizam computador
- Base de informações comum
- Informações padronizadas
- Qualidade da informação tende a ser maior
- O Domínio do processo tende a ser transferido para a empresa
- A recuperação de informações é muito mais rápida
- A produtividade de planejamento é maior
- Há escassez de especialistas em processos
- A adaptabilidade a mudanças tende a ser maior

As razões listadas acima partem do pressuposto de que a instalação do CAPP é feita de forma sistematizada, ou seja, passa-se por um processo de organização e análise dos processos de negócio que estão envolvidos no planejamento de processo, para então partir-se para a instalação de um software que auxilie estes processo.

O último item apresentado é objeto de discussão acirrada, principalmente se tem-se a história dos sistemas CAPP (apresentada em 2.7), em que a maioria dos sistemas modela as funções de planejamento de maneira precisa e rígida, de modo que mudanças em pequenos detalhes de planejamento podem implicar em grande esforço de readaptação. Somente alguns sistemas apresentados na década de 90 oferecem uma flexibilidade maior e adaptabilidade a mudanças.

Os diversos métodos de planejamento por computador podem ser classificados em dois tipos básicos: variante e generativo, semelhante ao que foi mostrado para planejamento convencional. Veja a figura 22.

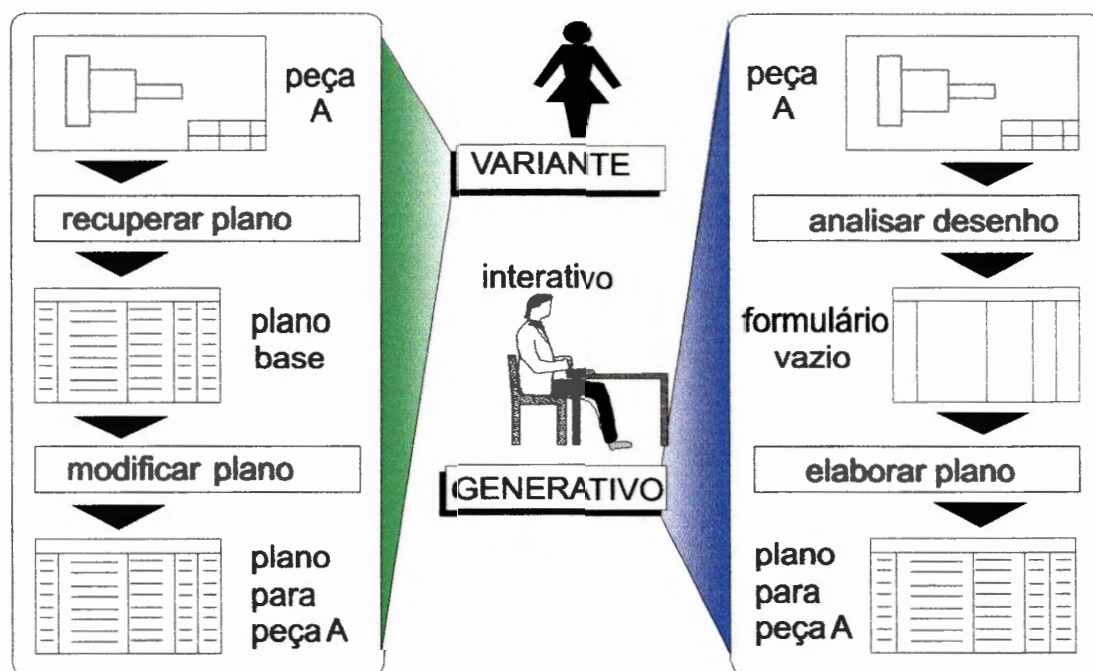


Figura 22: Tipos de CAPP

No planejamento variante utiliza-se a capacidade de armazenamento e velocidade do computador no auxílio para recuperação de planos semelhantes para então modificá-los., e o generativo parte de um plano em branco para construí-lo a partir da análise do desenho. Conforme a abordagem usada, o generativo ainda é subdividido em dois tipos: automático e interativo, o automático realiza todo o processo sem intervenção humana e o interativo usa o computador apenas como um guia na seleção de diversas opções. Tal subdivisão não é clássica na literatura internacional, porém encontra aplicação nos mais diversos tipos de CAPP utilizáveis atualmente.

Abaixo serão mostrados em mais detalhes tais tipos e uma combinação deles: o planejamento híbrido.

### 2.6.1. Planejamento Variante

Também chamado de ‘método de recuperação de dados’ (WANG & LI, 1991), o planejamento variante utiliza um plano de referência, também chamado de plano base, a partir do qual fazem-se modificações para obter-se um novo plano.



Segundo Wang (WANG & LI, 1991): “Como o nome diz, o planejamento variante pressupõe que haja famílias de peças e existam planos padrão para cada uma destas famílias em um estágio de preparação para o CAPP variante”, entretanto há alguns casos em que não se utilizam famílias de peças, utilizam-se apenas planos semelhantes, que não requerem a formação de famílias de peças, proporcionando uma sistematização de curto período e investimento, porém normalmente os planos semelhantes devem ser muito modificados.

O trabalho com planos padrão, segundo a definição de Wang (WANG & LI, 1991), pressupõe a existência de uma família de peças, que deve ser identificada em uma fase anterior ao planejamento de processo. Isto pressupõe que as famílias contenham peças bem-comportadas, no que diz respeito aos seus planos de processo, e normalmente os agrupamentos de família existentes são relativos a características de projeto e geometria das peças, e não características de processo. Normalmente os maiores problemas são encontrados no custo da obtenção de padrões e sua manutenção quando ocorrerem mudanças no chão-de-fábrica (ROZENFELD, 1992)

Entretanto, em relação ao planejamento por planos semelhantes, o retorno deste tipo é bem maior, pois a probabilidade de reutilização total do plano é maior.

Ainda dentro do planejamento variante, existe um outro tipo de planejamento que toma como base os planos parametrizados. A cada família de peças estão ligados planos que contém parâmetros que podem ser preenchidos automaticamente por regras ligadas a cada operação e a parâmetros da peça sendo planejada. Tal planejamento, por suas características de automação, também é visto como sendo do tipo generativo e será melhor abordado no item de CAPP generativo abaixo.

O maior problema para os sistemas de planejamento variante está na classificação das peças. A codificação usando tecnologia de grupo tradicional, onde se define um sistema de classificação e codificação tal como Opitz, KK3, Brisch, normalmente resulta em códigos longos e/ou de difícil compreensão. A utilização de computadores para resolver as complexidades dos códigos e oferecer uma interface mais amigável na codificação de peças tem ajudado a resolver tal problema.

Os sistemas de codificação baseados em computador atuais oferecem uma possibilidade de se trabalhar com códigos curtos, o que possibilita melhor entendimento da classificação. Devido a generalização maior (pois o código diminuiu), um maior número de peças entra na mesma família. Para caracterizar com mais detalhes cada peça, agrega-se a cada peça tabelas de atributos que complementam o significado do código (Norma DIN4000).

De uma maneira geral, na figura 23 apresentam-se as principais vantagens e desvantagens da utilização do CAPP variante.

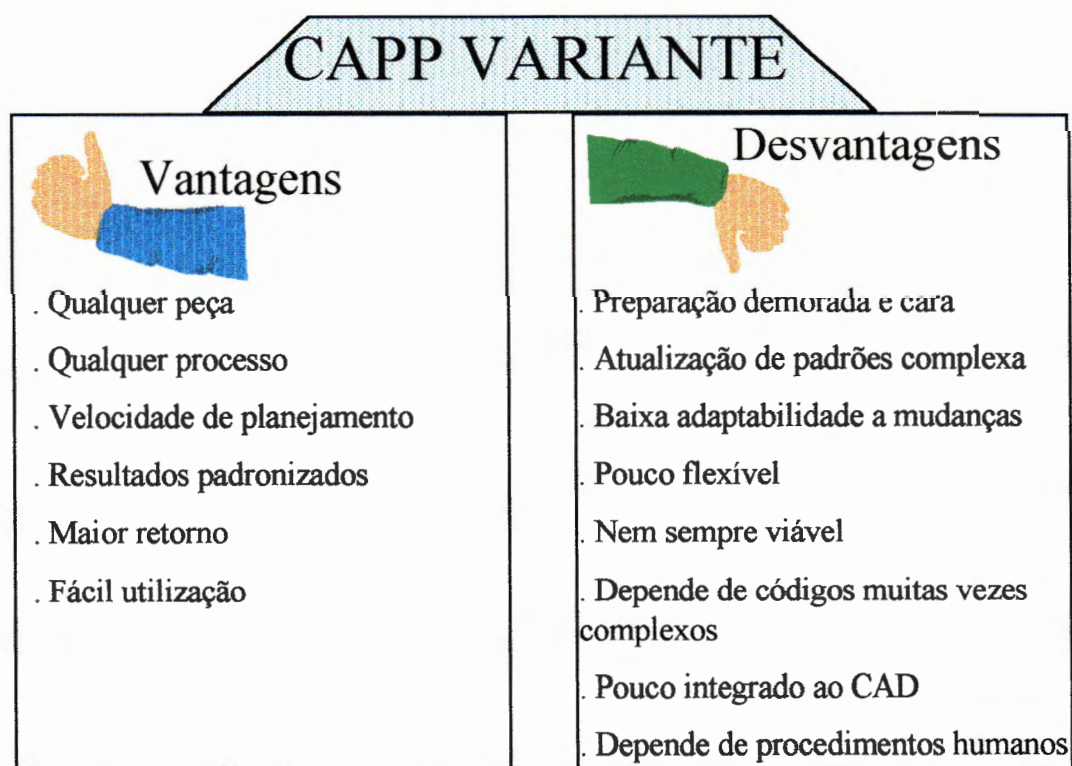


Figura 23: Vantagens e Desvantagens do CAPP variante

O CAPP variante permite, em relação ao generativo, uma flexibilidade muito maior no que tange a abrangência de peças planejadas, além de permitir uma utilização mais simples. Em relação ao generativo interativo (que será descrito abaixo), o variante apresenta maior produtividade, resultados mais padronizados e normalmente maior retorno. Deve-se entretanto observar que o CAPP variante nem sempre é possível de

ser utilizado, dado que nem todas as empresas possuem peças bem comportadas e agrupáveis em famílias.

Sua principal desvantagem, como mencionado acima, está no sistema de classificação, que pode levar até um ano para ficar pronto (ROZENFELD, 1992), levando a uma preparação demorada e cara. A atualização de padrões, em função da complexidade das famílias, também pode se tornar um problema que desestrutura a continuação do uso do CAPP, e também implica em baixa adaptabilidade a mudanças e em pouca flexibilidade, uma vez que uma mudança na estrutura de fabricação de algumas famílias pode implicar na re-estruturação de milhares de planos. Em relação ao generativo automático, oferece pouca integração como CAD, o que implica em perda de informações valiosas já incorporadas no desenho durante o esforço de projeto, e também depende demais de procedimentos humanos, tornando-se falível.

#### 2.6.2. Planejamento Generativo Automático

“O planejamento de processo automático é o objetivo maior de todas as pesquisas em CAPP existentes. Quase 60% dos trabalhos publicados em CAPP tratam desse assunto” (ROZENFELD, 1992).

No final dos anos setenta uma nova geração de sistemas CAPP emergiu. Estes sistemas sintetizavam informação de processo das tabelas e árvores de decisão nas quais a lógica da manufatura era armazenada. A definição ‘generativo’ é baseada no fato de um plano de processo poder ser gerado de uma descrição da peça (seja qual método ela utilizar) sem intervenção humana.

Nem todos os sistemas são totalmente generativos, alguns são semi-generativos, como por exemplo os paramétricos (variantes paramétricos) como GENPLAN (TULKOFF, 1981) e DCLASS (ALLEN, 1978). Outros exemplos de sistemas semi-generativos, porém independentes de sistemas de classificação, são AUTOPLAN (TEMPELHOF, 1979), AVOPLAN (PRACK, 1984) e CORE-CAPP (LI et al, 1987). Segundo Wang (WANG & LI, 1991), os componentes funcionais básicos de um sistema CAPP generativo são:

- a) Descrição da peça: Para que haja geração do processo, primeiramente é necessária a descrição da peça. Conforme a sofisticação e nível de complexidade do sistema CAPP utilizado, maior é a complexidade de descrição da peça. A descrição mais sofisticada vem de sistemas CAD, a partir da qual pode-se caracterizar a peça completamente, entretanto até agora não existe uma interface totalmente aceita para descrição da peça para CAPP. Os esforços da geração do padrão STEP na direção de especificação da linguagem de especificação de Features parecem promissores, mas ainda não tem o status de padrão mundial.
- b) Seleção das operações e seqüenciamento: após o conhecimento da forma da peça ter sido fornecido ao sistema, cálculos e manipulações são feitas para gerar o roteiro e informações da operação. Os métodos podem ser diversos, como regras de produção, frames, frames hierárquicos, redes neurais, etc.
- c) Base de dados de recursos de planejamento (máquinas, ferramentas, dispositivos): para que o sistema CAPP possa inferir o roteiro de fabricação, é necessário ter-se uma base de dados que informe todos os recursos disponíveis e suas características tecnológicas. A estruturação dos dados e sua extensão ditam a capacidade do sistema CAPP.
- d) Seleção dos parâmetros de usinagem: o sistema CAPP deve saber gerar os parâmetros de cada operação, como velocidade, avanço, profundidade e assim por diante. Métodos diversos podem ser usados, como matemáticos (Taylor), experimentais ou tabulares.
- e) Geração de relatórios: o resultado final do planejamento é o plano de processo, que inclui diversos documentos como plano-macro, folhas de operação e ilustrações de operação.

Tais componentes funcionais foram estendidos desde a época da definição acima. Hoje há sistemas CAPP que geram planos completos com escolha e projeto de dispositivos de fixação, ilustração do esquema de fixação, geração de código CN, entre outras funções.

No começo dos anos oitenta, foram iniciadas pesquisas na área de aplicação de técnicas de inteligência artificial (IA) para planejamento de processo. GARI

(DESCOTE & LATOMBE, 1981) e TOM(MATSUSHIMA et al, 1982) são os primeiros sistemas de planejamento de processo baseados em regras (HOUTEN, 1991). Em tais sistemas, o mecanismo de inferência é separado das regras sob as quais ele opera, o que fornece uma flexibilidade muito maior do que as técnicas convencionais usadas. Eles podem avaliar as possibilidades existentes na base de conhecimentos e explicar sobre suas ações. Isto faz com que seja possível estender o conhecimento do sistema através da adição de novas regras. Outros sistemas de planejamento baseados em regras foram desenvolvidos por Nau (NAU & CHANG, 1983), DarbyShire (DARBYSHIRE & DAVIES, 1984), Giusti (GIUSTI et al, 1986) e Wang (WANG & WYSK, 1986). Tais implementações mostraram que sistemas baseados em regras são ineficientes na representação de meta-conhecimento, ou seja, conhecimento não completo, genérico. Também ficou claro que a aquisição e manutenção do conhecimento é bastante tediosa. Representações de conhecimento mais poderosas como frames hierárquicos foram introduzidas em sistemas como SIPS (NAU & GRAY, 1986). Estas técnicas de representação de conhecimento aumentam a manutenibilidade do domínio de conhecimento e aumentam a performance dos sistemas (HOUTEN, 1991).

Os desenvolvimentos obtidos na IA também tiveram impactos negativos na pesquisa de planejamento de processo por computador. Uma das razões foi o fato de os atrativos maiores de cada nova técnica de IA provocarem os pesquisadores a uma série de re-implementações dos seus sistemas, sem real aumento do conhecimento do domínio . Outra das razões é que o planejamento do processo é uma área onde se encontra muito conhecimento não estruturado de pessoal com experiência. Devido a esta aparência *fuzzy*, esta área se tornou de interesse para muitas pessoas com interesse real em IA, e não em planejamento do processo, o que levou a protótipos feitos por engenheiros de conhecimento sem conhecimento de engenharia (HOUTEN, 1991). Estes protótipos normalmente requerem mais esforço para gerar a entrada dos dados do que normalmente se gasta na confecção do plano a mão. A presunção de que o conhecimento de manufatura pode ser gerado espontaneamente a partir das regras de inferência deduzidas de entrevistas com processistas provou ser falsa. Ainda

mais, foi mostrado muitas vezes que a tarefa de planejamento de operações pode ser automatizada sem o uso da IA, através de sistemas que tiveram o conhecimento compactado na forma de modelos matemáticos que tem muito mais força de expressão do que um conjunto de regras fracamente conectadas, ambíguas e algumas vezes dúbias (HOUTEN, 1991). Se a IA é vista apenas como mais uma ferramenta de implementação de alguns modelos, ela pode ser usada para aumentar a flexibilidade e adaptabilidade de sistemas CAPP.

Um sistema CAPP automático dificilmente será empregado na prática dentro dos próximos anos sem que este esteja inserido em uma solução global e abrangente de planejamento de processo, pois o CAPP automático não se presta ao planejamento de todas as peças de uma empresa, resolvendo apenas casos específicos.

De uma maneira geral, apresentam-se na figura abaixo (figura 24) as principais vantagens e desvantagens do CAPP automático:

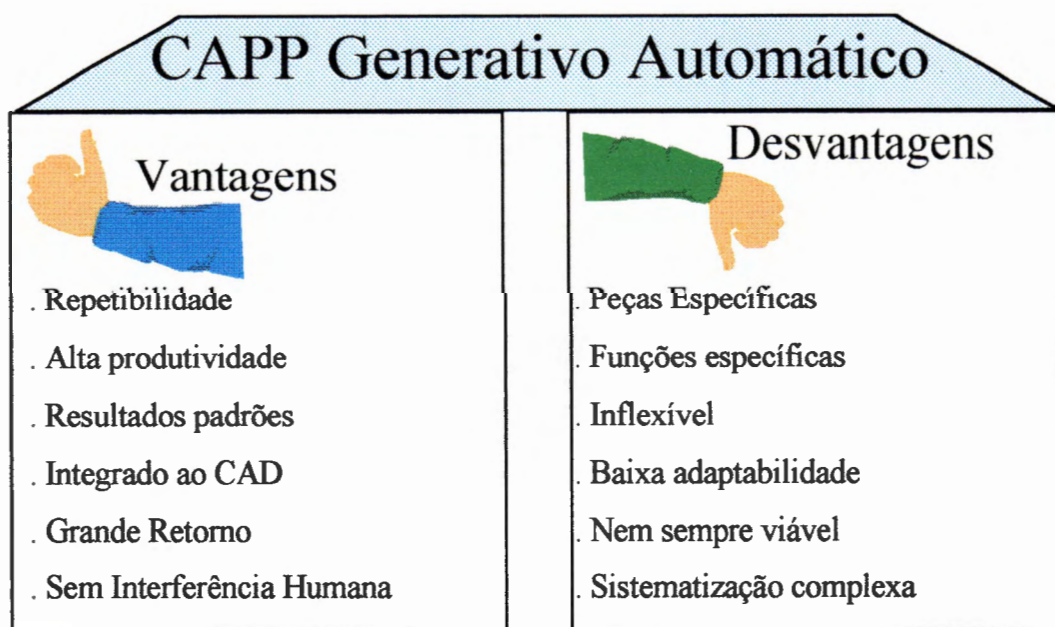


Figura 24: Vantagens e desvantagens do CAPP generativo automático

As maiores vantagens de sistemas generativos automáticos são normalmente associadas a sua repetibilidade (capacidade de emitir planos idênticos quando peças idênticas são planejadas) e sua velocidade (aplicações de CAPP automático podem fornecer até 40 vezes mais produtividade que produção manual do plano de

processo). A vantagem de integração ao CAD reside no fato de aproveitar-se informações já geradas no esforço de projeto diretamente. A vantagem de grande retorno está associada a produtividade oferecida pelo CAPP automático, entretanto verifica-se que o tempo e quantidade de recursos que o CAPP automático normalmente consomem é muito alto, tornando o retorno longo. A ausência de interferência humana apresenta-se como uma vantagem subjetiva, se olhado do aspecto produtividade e qualidade uniforme, é uma vantagem real, se olhado do lado de flexibilidade e adaptabilidade, não há vantagem.

As desvantagens residem nos fatos mostrados acima quanto a especificidade das soluções, ou seja, somente podem ser modelados casos particulares de alguns conjuntos de peças, normalmente não atendendo a toda variedade existente de peças em uma empresa. Daí deriva a desvantagem de baixa adaptabilidade e inflexibilidade das soluções. Alguns autores defendem que as técnicas de IA tendem a deixar a aplicação mais flexível, mas outros mostram que tal fato não ocorre, como visto acima. Uma das maiores desvantagens reside no fato da sistematização ser muito complexa, muitas vezes inviabilizando a implantação de tais sistemas.

### 2.6.3. Planejamento Generativo Interativo

Normalmente o planejamento interativo é considerado como uma digitação de texto em um processador de texto qualquer, por isso tal modalidade de CAPP é normalmente ignorada pela literatura mundial. A figura abaixo (figura 25) esclarece as diferenças entre os diversos métodos de edição por computador.

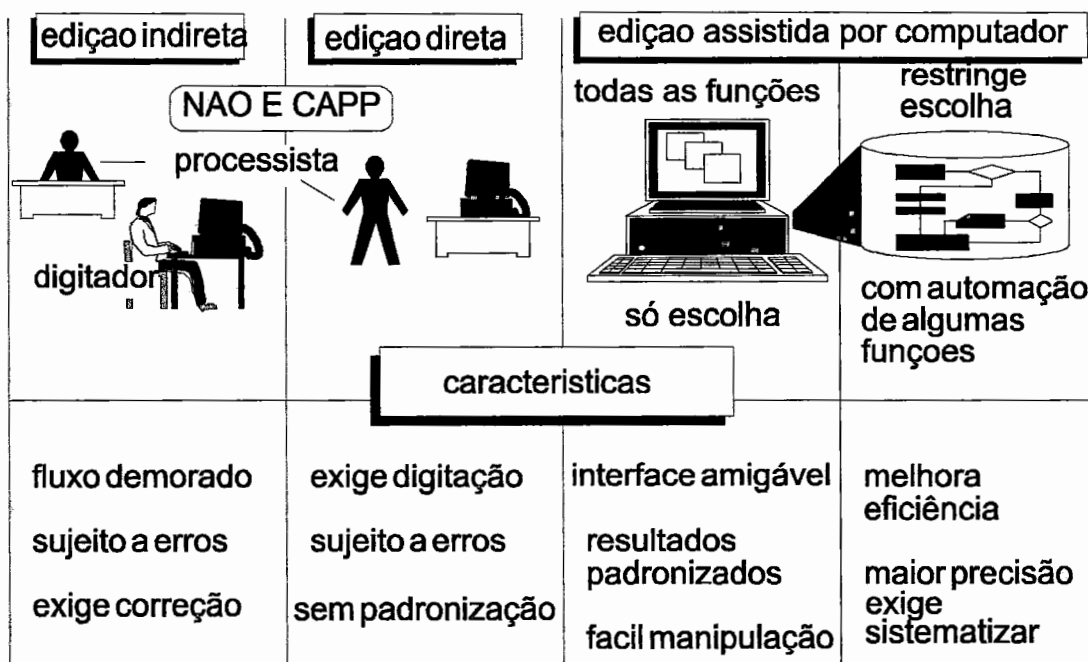


Figura 25: Localização do planejamento generativo interativo

No final da década de 80 e início de 90, a edição indireta era o método mais difundido, onde as informações do planejamento são geradas pelo processista e enviadas a um digitador, que alimenta o computador com os dados necessários. Normalmente é impresso um formulário que o processista confere, ou seja, o processo contém idas e voltas que não agregam valor e é sujeito a erros.

Em outras empresas, o processista substitui o digitador, colocando as informações diretamente no computador. Por eliminar a etapa intermediária, achava-se que o ciclo de obtenção de um plano seria menor. Tal presunção mostrou-se falsa, pois o processista experiente normalmente não apresentava habilidade no computador. Com as pressões de produtividade, o processista torna-se um digitador, não pensando nos processos e sim colocando dados no computador. Ele deixa de realizar as funções para as quais é melhor capacitado (ROZENFELD, 1992).

Ambas as atividades acima não são CAPP interativo, e mantêm todos os problemas do planejamento convencional supracitados. No final da década de 90 foram iniciados esforços baseados nos fatos levantados sobre a distribuição de tempo (figura 9 acima), em que constatou-se que 63% do tempo empregue na confecção de processo era gasta em digitação (ROZENFELD et al, 1992). A idéia foi utilizar o computador



como um guia na escolha de parâmetros e recursos pré-cadastrados, através de uma interface amigável, preferencialmente GUI (Graphical User Interface). Desta maneira, o processista interage diretamente com o computador com um mínimo de digitação e dificuldade.

Os parâmetros e recursos citados acima são os objetos com que o processista normalmente interage ao fazer um plano de processo. Podem ser definidas operações-padrão paramétricas (por exemplo em “Tornear externo diâmetro [1] x [2]”, o primeiro item entre colchetes é o primeiro parâmetro (diâmetro) e o segundo é o segundo parâmetro (comprimento)), ferramentas, máquinas, dispositivos e assim por diante.

A sistematização para implantação torna-se relativamente simples, com o estudo das informações necessárias no plano de processo e seu grau de detalhamento. A partir daí determina-se quais são os padrões a serem utilizados (operações-padrão, ferramentas, máquinas,...), e então a geração de planos pode começar.

Normalmente, devido ao grande número de recursos existentes, procura-se inter-relacionar os recursos existentes para diminuir as possibilidades de escolha. Por exemplo, pode-se determinar que as operações de torneamento só serão feitas em tornos e que os tornos só usarão ferramentas de torneamento. Desta maneira, através de filtros automáticos, o processista é guiado na confecção do processo, aumentando sua produtividade e evitando erros grosseiros.

Portanto, o CAPP interativo vem a resolver os problemas mostrados para o planejamento convencional, proporcionando padronização, base de dados centralizada, qualidade de informação, maior domínio do processo, recuperação de informações ágil e melhoria na produtividade de planejamento.

A figura 26 apresenta as principais vantagens e desvantagens do uso de CAPP generativo interativo.

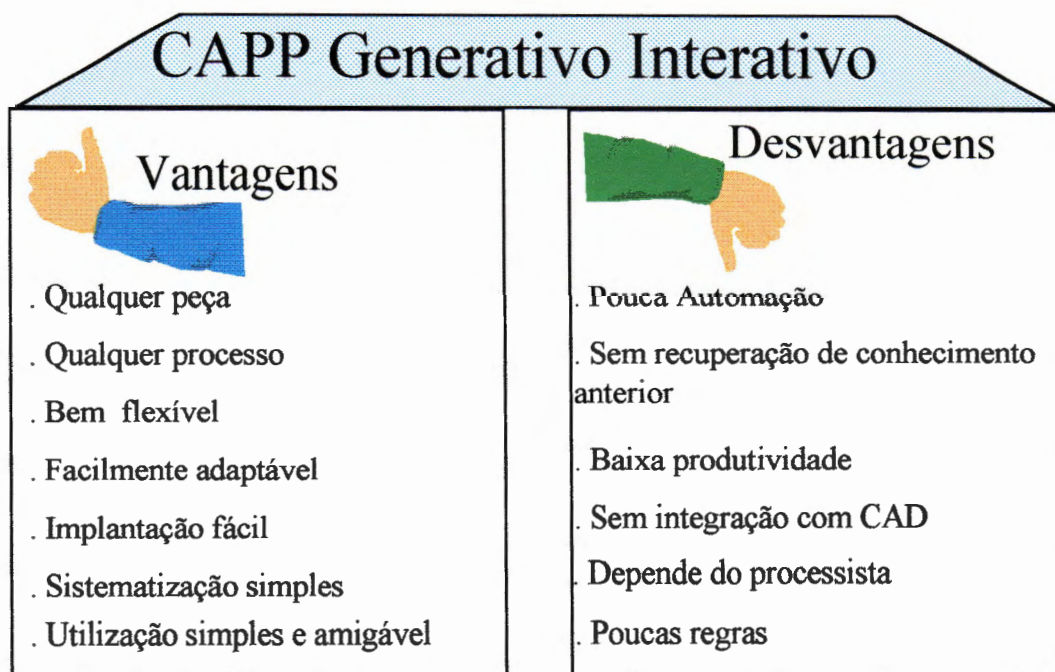


Figura 26: Vantagens e Desvantagens do CAPP interativo

As vantagens residem no fato básico de que o CAPP interativo é simples e genérico: pode-se planejar qualquer peça e qualquer processo, pois nenhuma amarração foi feita em relação a isso. Sua flexibilidade é a maior dos métodos utilizados, qualquer mudança nos recursos requeridos apenas implica em seu cadastramento na base de dados. Caso haja algum processo novo ou até outra mini-fábrica dentro da empresa, basta definir os planos de processo e seus recursos. Através de interfaces GUI, a utilização torna-se simples e amigável.

As principais desvantagens estão ligadas a falta de automação, o que leva a uma produtividade menor em relação a sistemas automáticos (o aumento de produtividade típica para sistemas interativos é de 2 a 4 vezes). O não aproveitamento de conhecimento anterior penaliza o sistema interativo, pois os planos gerados anteriormente não podem ser recuperados. A falta de integração com CAD aqui diz respeito a não utilização das informações geradas pelo CAD na geração de processos, alguns sistemas CAPP interativos usam o CAD para detalhamento gráfico. A dependência do processista é uma desvantagem em relação aos sistemas automáticos, mas como estes não conseguem resolver todos os planos, a interação humana sempre termina sendo necessária. As poucas regras existentes no interativo, a fim de somente

evitar erros grosseiros, não impedem o processista de rosquear um furo que ainda não sofreu a operação de furar, pois o CAPP interativo não conhece o processo.

#### 2.6.4. Planejamento híbrido

As vantagens e desvantagens apresentadas acima para cada uma dos métodos de planejamento levam a uma conclusão natural de que a combinação destes métodos em uma solução híbrida pode alcançar o melhor de cada um dos métodos (figura 27).

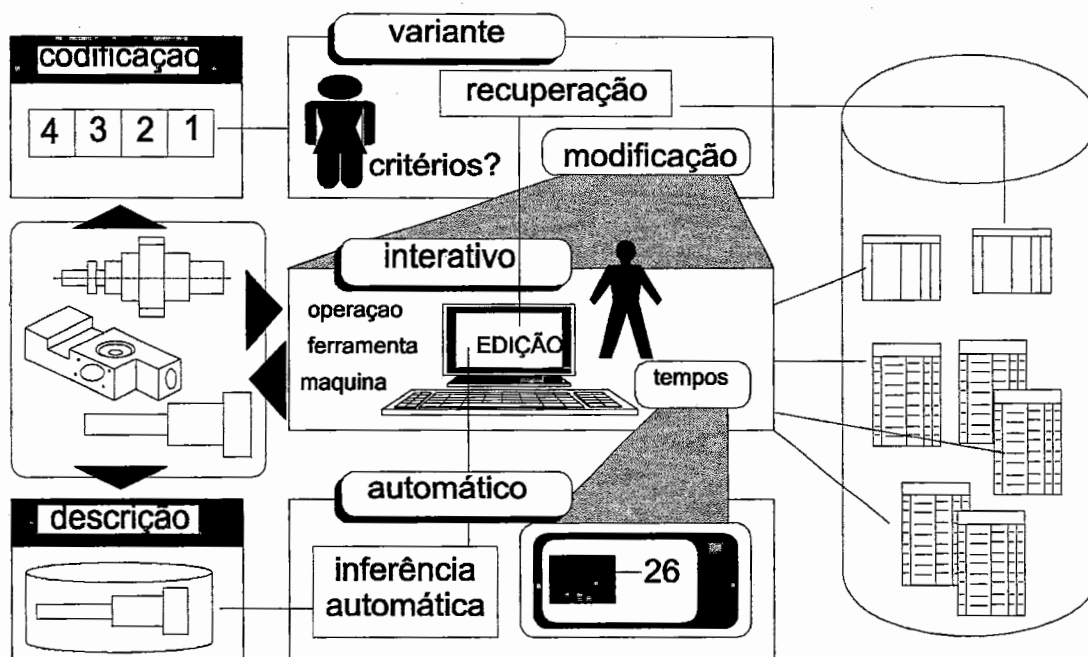


Figura 27: Solução CAPP híbrida

A solução híbrida permite a utilização das vantagens de cada método em partes distintas das funções de planejamento de processo. Em uma peça totalmente nova, não existente na história da empresa, inicia-se o planejamento através do generativo interativo, e em determinados pontos pode-se requisitar que o sistema faça uma inferência automática (cálculo de tempos, cálculo de condições de usinagem, geração de CN para um feature conhecido). Outras peças, de aparência conhecida, podem ser melhor planejadas através do método variante.

#### 2.7. Alternativas de planejamento automático

As alternativas de planejamento automático existentes podem ser classificadas quanto às atividades de planejamento que são realizadas, quanto a representação da peça

utilizada para o planejamento e quanto ao método utilizado para resolver o plano de processo. Abaixo estas classificações são discutidas com maior detalhe:

### 2.7.1. Atividade de Planejamento realizada.

Os sistemas CAPP automáticos realizam as mais diversas atividades de planejamento. A rigor, um sistema CAPP completamente automático deve realizar todas as etapas de planejamento, entretanto, devido a complexidade de tal tarefa, há apenas um sistema que atuem nesta extensão, entretanto nem todas as atividades são realizadas em sua plenitude.

Há, portanto, sistemas CAPP que atuam nas seguintes atividades:

- Determinação da peça em bruto
- Determinação de operações macro e sequenciamento destas
- Determinação dos equipamentos a serem utilizados em cada operação
- Determinação de programas CN (programação CN)
- Determinação de Ferramental
- Cálculo de condições de usinagem
- Cálculo de tempos de fabricação

Dentre tais atividades, as que consomem mais tempo e que tem menos implementações de sucesso são as atividades de determinação de operações e sua seqüência e determinação de programas CN, pois requerem reconhecimento avançado da topologia e geometria da peça além dos conceitos de engenharia e raciocínio ligados a estas atividades. Normalmente tais sistemas CAPP utilizam bases de conhecimentos baseadas em Frames e regras de produção, ou outras técnicas de IA. O cálculo de condições de usinagem e tempos de fabricação, por outro lado, já contam com algoritmos e fórmulas estabelecidas durante anos de pesquisa, o que torna mais fácil o desenvolvimento de aplicações de sucesso. De uma maneira geral, a figura 28 se aplica.

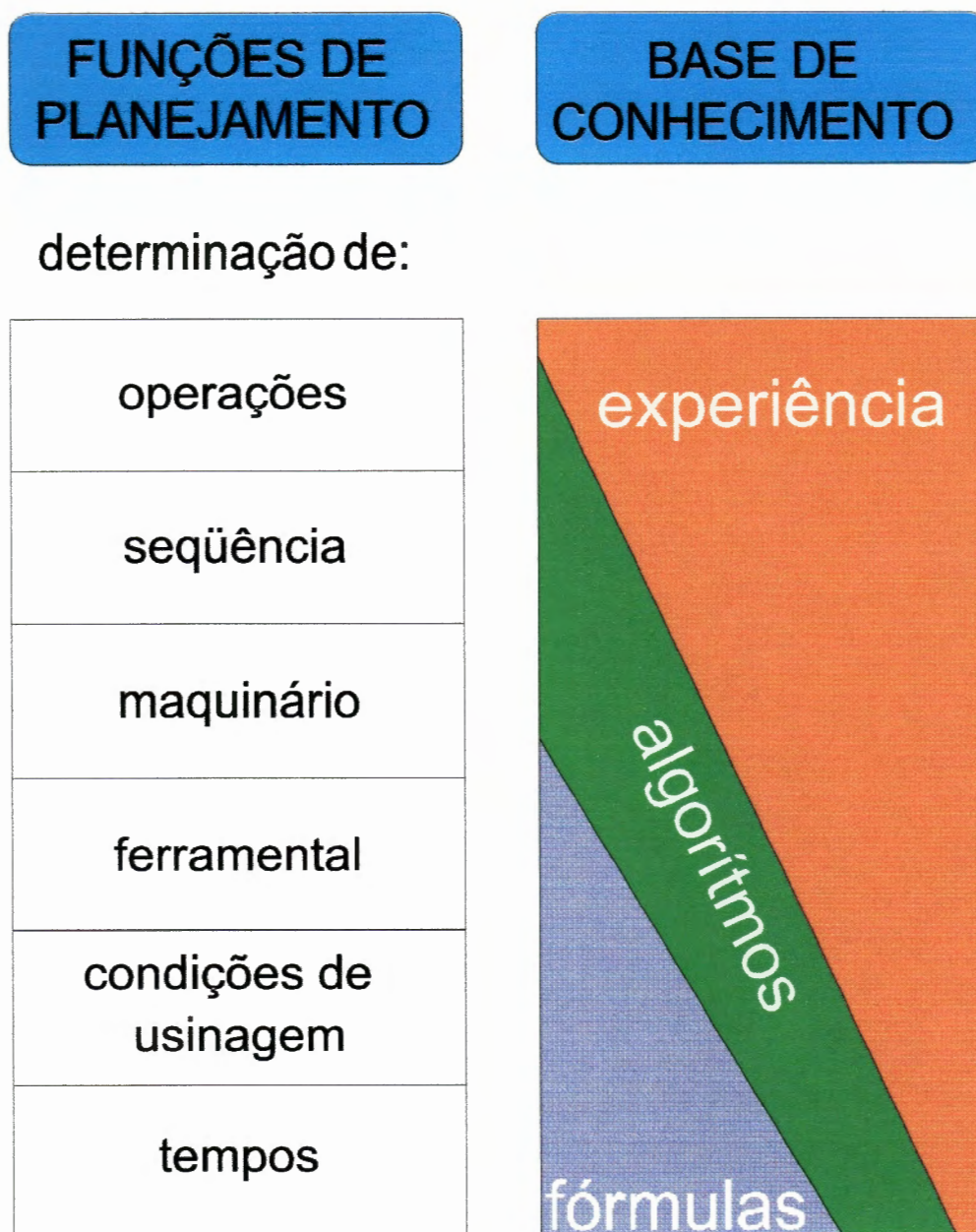


Figura 28: Tipos de conhecimento no planejamento do processo (ROZENFELD, 1992)

### 2.7.2. Representação da peça utilizada

Os primeiros CAPP automáticos (semi-automáticos na verdade) geravam planos para peças descritas através de códigos e tabelas de atributos, tais descrições geravam planos relativamente pobres em informações, pois não havia riqueza de detalhes na descrição da peça. Outros utilizaram representações paramétricas das peças,

ganhando riqueza no plano de processo, e mais recentemente, com os sistemas CAD com representação volumétrica e features, surgiram sistemas CAPP que conseguem reconhecer os elementos de engenharia da peça e determinam qual será a operação para cada um deles.

De maneira qualitativa, pode-se dizer que a complexidade dos sistemas CAPP está relacionada com a complexidade de descrição das peças que estes exigem (figura 29).

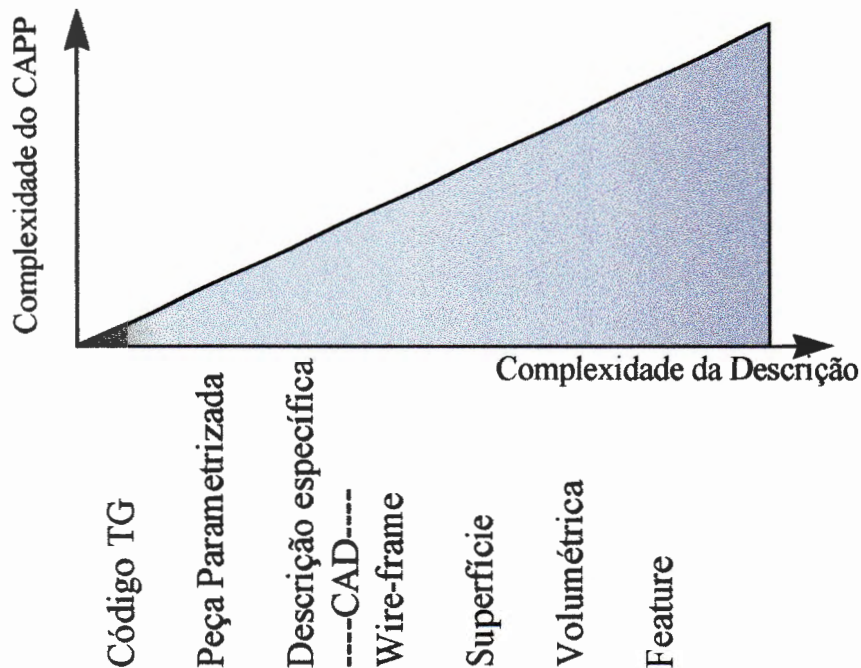


Figura 29: Relação entre a complexidade do CAPP e a complexidade da descrição da peça

### 2.7.3. Métodos de elaboração do plano de processo

Existem diversos métodos para se elaborar um plano de processo automaticamente, que podem ser agrupados em duas classes: métodos baseados em algoritmos / fórmulas e métodos baseados em conhecimento.

Os métodos baseados em algoritmos e fórmulas são mais aplicados onde o conhecimento sobre o assunto sendo desenvolvido é bem conhecido. Cálculo de condições de usinagem e tempos de fabricação são dois exemplos de áreas em que tais métodos se aplicam. Existem autores que apoiam o uso de algoritmos e fórmulas

para resolver até a determinação e sequenciamento das operações, seleção de máquinas e geração de código CN (HOUTEN, 1991), afirmando que a forma mais concisa de expressão de um conhecimento é através de uma equação matemática. Wang (WANG & LI, 1991) descreve métodos algorítmicos baseados em fórmulas para a determinação completa de um plano de processo.

Os métodos baseados em conhecimento surgiram inicialmente para expressar conhecimentos incertos ou mal-expressados, e são um dos principais campos de estudo da IA, um ramo da ciência da computação. Como julga-se que normalmente a determinação de operações e seu sequenciamento são expressados através de conhecimento incerto, o planejamento de processo tornou-se um campo de muitas expectativas para a IA. Infelizmente, muitas expectativas mostraram-se falsas, como por exemplo (WANG & LI, 1991):

- Um sistema baseado em conhecimento pode resolver qualquer problema resolvido por especialistas humanos.
- Os sistemas baseados em conhecimento são desenvolvidos por engenheiros de conhecimento (com pouca interação com especialistas)
- Os sistemas baseados em conhecimento podem ser rapidamente prototipados e expandidos.
- Os sistemas baseados em conhecimento podem ser a resposta a todos os problemas de software.

De qualquer maneira, foram desenvolvidos diversos sistemas que apoiam a noção que hoje tem-se da real aplicabilidade das ferramentas de IA: para apoio a resolução de problemas específicos, não de abrangência geral.

Um sistema baseado em conhecimento normalmente contém quatro componentes básicos: a base de conhecimentos, um motor de inferência- que liga os conhecimentos da base e dá respostas a perguntas, um módulo de explicação - que explica porquê determinados resultados foram atingidos e uma interface para comunicação com o usuário.

As representações mais comuns de conhecimento sob as quais as bases de conhecimento são construídas são redes semânticas, frames, frames hierárquicos,

regras de produção, tabelas de decisão e procedimentos. Literatura extensa sobre o assunto pode ser encontrada em (WANG & LI, 1991), (NAU & CHANG, 1983), (NAU & GRAY, 1986), (HUMMEL & BROOKS, 1986).

Devido a extensa aplicação dos sistemas baseados em conhecimento, estão disponíveis no mercado soluções que agregam um motor de inferência, módulo de explicação, e interface para alimentação da base de conhecimento. Tais sistemas são chamados *shell*, ou casca, a partir da qual um sistema funcional baseado em conhecimento pode ser montado.

Deve-se notar também a existência e grande aplicação de redes neurais para resolver problemas de planejamento de processo. As redes neurais também podem ser classificadas como sistemas baseados em conhecimento, apesar de não terem necessariamente a estrutura descrita acima. Redes neurais nada mais são do que funções matemáticas interligadas de determinada maneira que permitem o armazenamento de conhecimento (WANG & LI, 1991) (FEIGENBAUM, 1977) (ANDERSON, 1977).

### 2.8. Soluções Existentes

O final da década de 70 e a década de 80 foram prolíficos na geração de sistemas CAPP, quando foram criados mais de 200 sistemas de variadas aplicações. Alting e Zang (ALTING & ZHANG, 1989) reportam os sistemas da tabela 1 como exemplos:

Sistema	Forma da Peça/ Processo de Fabricação	Método de Planejamento	Linguagem de Programação	Referência	Local de Desenvolvimento
APPAS	Furação/ Retificação	Generativo	Fortran IV	Wysk/ 97	Purdue / EUA
AUTAP	Furação/ Retificação	Generativo	Fortran 77	Eversheim / 75-80	WZL/ Alemanha
CADCAM	Furação	Generativo	Fortran	Chang e	VIP e SU/



				Wysk /80-85	EUA
CMPP	Rotacionais	Generativo	Fortran 77	Austin/82-86	UTRC/ EUA
EXCAP	Rotacionais	Generativo	Prolog	Wright/81-87	UMIST / Inglaterra
GARI	Furação	Generativo	Maclisp	Wolfe/ 81-85	Grenoble/ França
GENPLAN	Todas	Variante/ Generativo	Maclisp	Tulkoff/87	Lockheed-Georgia/ EUA
ICAPP	Prismáticas	Generativo	Fortran	Wright/81-87	UMIST/ Inglaterra
KAPPS	Rotacionais/ Prismáticas	Generativo	Lisp	Wright/81-87	Logan Ass./ EUA
MIPLAN	Rotacionais/ Prismáticas	Variante	M-Basic	Houtzeel/76	OIR e GE Co./ EUA
MULTI-CAPP II	Todas	Variante	Fortran	OIR news advance/86-87	OIR/ USA
SIPS	Todas	Generativo	Fortran 77	Liu e Allen/ 86	Southampton Un./ Inglaterra
TOM	Rotacionais	Generativo	Pascal	Matsushima/ 82-87	U. de Tokyo/ Japão
XPLAN	Todas	Generativo	Fortran 77	Alting/84-88	Tech. Un. DK/ Dinamarca

Tabela 1: Sistemas CAPP disponíveis na década de 80.

Apesar de todos os desenvolvimentos (a maioria em universidades), poucos sistemas chegaram a ser utilizados na prática, mesmo os entendidos para tal. O SIPS supracitado, por exemplo, foi desenvolvido para ser o núcleo de um sistema CAPP

utilizável comercialmente e não chegou a tal objetivo. Também os sistemas ditos generativos acima são na verdade semi-generativos, continuando com o SIPS, este se concentra apenas na seleção das sub-operações de uma determinada operação, e assume que o sequenciamento e determinação das máquinas já foi fornecido corretamente.

Rozenfeld (ROZENFELD, 1992), fez um levantamento de sistemas CAPP que apontou 127 sistemas existentes, dos quais 41 foram analisados e selecionados 12 por possuírem características de aplicação parática: ADIPLAN, AVOPLAN, C-PLAN, CAPPE, ET-CAP, ENGIN, IntelliCAPP, LOGAN, MetCAPP, MIPLAN, PART e SuperCAPES. Os cinco principais serão analisados abaixo.

### 2.8.1. CAPPE

O CAPPE foi desenvolvido no Brasil pela KSR Consultoria e Sistemas para Engenharia, baseado em conceitos trazidos do WZL na Alemanha e aprimorados no laboratório de Máquinas-Ferramenta (LAMAPE) da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. Ele é um sistema híbrido que engloba os conceitos de CAPP variante e generativo iterativo.

A partir da sistematização inicial, que inclui o cadastro das máquinas e ferramentas disponíveis e definição de operações-padrão, além da definição do grau de detalhamento do plano de processo, o usuário pode interagir com o sistema e gerar:

- Planos de processo macro (seqüência, operações e máquinas)
- Ferramental necessário em cada operação
- Componentes montados em cada operação (no caso de planos de montagem)
- Detalhamentos diversos que incluem planos de setup, planos de sub-operação, planos de qualidade, ilustrações via CAD ou OLE (Object Linking and Embedding).

Conforme o grau de organização que a empresa possui, o CAPPE permite controle do estado de cada documento e seu fluxo entre diferentes áreas, assim como o planejamento distribuído (cada setor pode fazer partes independentes do plano e mais tarde interligá-las).

Caso a empresa possua uma metodologia de cálculo de tempos e condições de usinagem, o CAPPE fornece um processador genérico de fórmulas e tabelas que permite automatizar o cálculo destas funções de planejamento.

A aplicação de tecnologia de grupo também pode ser feita através de um módulo de classificação que permite agrupar peças em famílias e ligar variáveis a elas.

### CONCEPÇÃO DO SISTEMA

O sistema CAPPE é um ambiente computacional sob o qual trabalham diversos módulos independentes (figura 30) que se comunicam através de uma base de dados relacional, que executam funções específicas de planejamento do processo, tais como escolha de operações, ferramentas e equipamentos.

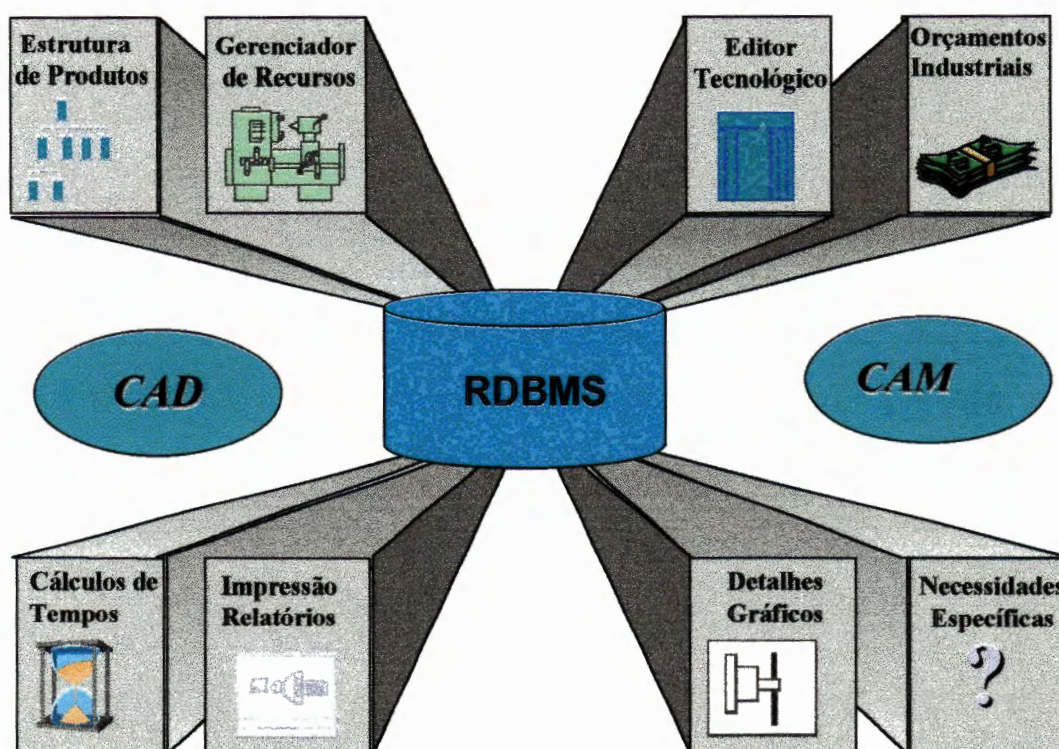


Figura 30: Concepção básica do CAPPE

Consegue-se criar várias soluções de planejamento do processo, voltadas a uma realidade específica da empresa, através da combinação dos módulos existentes ou novos. Com esta filosofia aberta pode-se incorporar ao ambiente CAPPE outros

sistemas desenvolvidos pela empresa, ou sistemas comerciais já existentes, para realizar funções de planejamento do processo.

Esta concepção permite que cada setor da empresa tenha um sistema customizado para suas necessidades, compartilhando uma mesma base de dados, garantindo assim uma utilização integrada. Mesmo os módulos já existentes na solução CAPPE podem também ser adaptados à empresa. Um exemplo é o editor tecnológico do sistema CAPPE, cuja tela de trabalho deve seguir os padrões da folha de processo utilizado pela empresa. Assim, segue-se a filosofia de que "o software tem que se adaptar à empresa, tomando-se o cuidado de otimizar anteriormente a função de planejamento do processo. Para isto, o sistema conta com os seguintes módulos:

M1- Módulo gerenciador de recursos de planejamento (GRP); permite organizar e padronizar a nomenclatura utilizada na empresa, que além de cadastrar elementos com suas fichas técnicas personalizadas para cada família (operações, equipamentos, ferramentas, etc.), os relaciona. Desta forma, obtem-se maior precisão nas escolhas realizadas pelos processistas durante o planejamento, e minimizando os erros de inconsistências. Neste módulo também são cadastrados os desenhos de cada recurso cadastrada através da chamada de sistemas CAD integrados.

M2- Módulo para seleção de peças; responsável pela escolha da identificação da peça a ser planejada. Este módulo agiliza a seleção através de filtros escolhidos pelo processista. Além disto, os produtos e materiais podem ser classificados tecnicamente (através de fichas definidos pelo usuário), facilitando o encontro de dados de produtos, desenhos, processos, etc.

M3- Módulo de recuperação de planos; permite selecionar uma folha de processo correspondente a uma peça previamente selecionada, além de permitir a criação de novos planos a partir de planos semelhantes ou padrões para famílias de peças.

M4- Módulo para edição tecnológica; responsável pela edição da folha de processo, bem como o gerenciamento do detalhamento de uma operação. Este detalhamento pode conter uma lista de sub-operações ( para se descrever o método de realização da operação com mais detalhes), um programa de comando numérico, um croquis (utilizando um sistema CAD comercial integrável), folhas de especificação de procedimentos e inspeção, uma lista de ferramentas ou outros tipos de detalhamentos especificados pela empresa.

M5- Módulo de impressão; permite a impressão da folha de processo e os detalhamentos correspondentes a este plano. Quando os detalhamentos envolvem informações gráficas, o sistema CAPPE aciona automaticamente um sistema CAD para a impressão.

M6 - Módulo de orçamentos - Efetua o cálculo de custos de fabricação dos produtos a partir do estrutura do produto e de processos de fabricações atualizados. Permite simulações de custos ainda na fase de planejamento do processo, dando uma consequente agilidade nas decisões de fabricação. O módulo permite visualizar para cada item o custo agregado por operação, matéria-prima e ferramental, e permite estimar o lote ideal de produção.

M7- Módulo de cálculo de tempos - Permite associar as operações padrões (macro, sub-operações e set-up) estruturas de cálculos de tempos ( fórmulas e tabelas) de diferentes complexidades. As métodos de cálculos são específicos por usuário do CAPPE, podendo atingir alta precisão nos cálculo de tempos.

M8 -Estrutura do produto - Permite a definição e administração da estrutura dos produtos da empresa. A estrutura de produto pode ser montada a partir do sistema de classificação dos produtos, o que garante grande agilidade de decisões quanto a materiais, produtos e itens comprados.

O módulo básico é formado por M1 a M5.

O sistema CAPPE procura agilizar o planejamento do processo, uma vez que o processista deixa de perder tempo em tarefas como recuperação de folha de processo já existentes e digitação.

A operação das diversas funções de planejamento é protegida por senhas, que fornecem diversos níveis de acesso dentro do sistema.

## CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Linguagem e base de dados:

O CAPPE conversa nativamente com os principais gerenciadores de banco de dados relacionais cliente-servidor (Oracle, Sybase, e Sybase SQL Anywhere) e foi desenvolvido em PowerBuilder e C++.

### 2.8.2. MetCAPP

O MetCAPP foi desenvolvido pelo *Institute of Advanced Manufacturing Sciences* (IAMS), que tem décadas de tradição na tecnologia de usinagem de metais, por isso mesmo o MetCAPP incorpora um sistema especialista com lógica de usinagem. O MetCAPP é um sistema híbrido que permite planejamento generativo automático e variante. O usuário cria as operações macro manualmente, então, em uma etapa de detalhamento da operação, o usuário fornece os features a serem trabalhados. Os features fornecidos são então passados ao sistema especialista que recomenda os detalhes de usinagem de cada feature.

A característica mais marcante deste CAPP é a extensiva base de dados sobre dados de corte fornecida juntamente com o corte, que contém basicamente todo o *machining data handbook* gerado pelo IAMS durante anos de pesquisa. A prática mostrou entretanto que tais informações não tem aplicação em outros países, como o

Brasil, com realidades completamente diferentes de fornecedores de materiais, ferramentas e máquinas.

### CONCEPÇÃO DO SISTEMA

O MetCAPP é formado por três módulos básicos integrados: CUTPLAN, CUTTECH e CUTDATA, além da base de dados e utilitários para gerenciamento dos planos gerados.

O CUTPLAN fornece a interface para edição dos planos de processo macro, onde se criam as operações macro, determinam-se as máquinas e tempos (estes tempos podem ser digitados ou obtidos do módulo CUTTECH).

O CUTTECH é o módulo realizado para fazer o planejamento detalhado de usinagem. Através de seleção em uma lista, escolhem-se os “*features*” disponíveis (não há integração com CAD), especificam-se os parâmetros dos features e então o sistema especifica o processo de usinagem para este feature. O CUTTECH especifica os passos a serem usados para fazer este feature e todas as condições de usinagem (passes, profundidade de corte, velocidade de corte, avanços,...). Todas estas recomendações são baseadas no *machining data handbook* da IAMS.

O CUTDATA fornece acesso ao *machining data handbook*, o banco de dados de usinagem da IAMS. Apesar dos dados serem modificáveis pelo usuário, isto não é uma tarefa simples.

### CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

O MetCAPP está disponível nas plataformas SUN, IBM AIX, Windows e OS/2, e trabalha com uma base de dados proprietária que aceita comandos SQL.

#### 2.8.3. PART

O PART foi desenvolvido pelo Laboratório de Engenharia de Produção da Universidade de Twente, com assistência do Centro de Matemática de Amsterdam, e foi patrocinado pelo Ministério Alemão de Assuntos Econômicos. Ele é o projeto de

CAPP mais ambicioso de que se tem notícia (foram investidos 4 milhões de dólares entre 1987 e 1991), e com melhores resultados na área do CAPP generativo automático.

PART é um sistema CAPP generativo que pode gerar automaticamente programas CN, instruções de set-up e informações auxiliares para a manufatura de pequenos lotes. Ele foi projetado para trabalhar com planejamento de processo on-line e off-line (com a produção) para centros de usinagem. Ele pode lidar com um espectro variado de produtos e blanks com geometrias complexas.

O sistema interpreta os modelos CAD do produto final e do blank (representados com B-rep) automaticamente e também pode selecionar os recursos necessários para produzir a peça, por exemplo máquinas, dispositivos de fixação e ferramentas de corte.

O PART executa a seleção de set-ups, métodos de usinagem e sequenciamento das operações, além do cálculo dos caminhos de ferramentas e condições de usinagem. Limitações dos recursos e da capacidade da fábrica são levados em conta.

O requisito de eficiência e adaptabilidade do método de planejamento para uma variedade de culturas de manufatura resultou em um projeto baseado em sequenciamento flexível e execução paralela de funções de planejamento de processo.

A arquitetura do sistema permite customização às características de cada empresa. Normalmente não é requerida intervenção humana, mas através de uma interface gráfica o usuário pode monitorar e controlar o processo de decisão.

#### Concepção do Sistema

ROUND e CUBIC foram dois sistemas antecessores ao PART que influenciaram na sua arquitetura. Eles tem uma arquitetura modular em que cada tarefa principal de planejamento é resolvida por um módulo dedicado. A seqüência de planejamento global é fixa. Isto não só causa problemas de flexibilidade como falta de liberdade para selecionar as máquinas ou ferramentas antes de outras atividades, como também uma desvantagem séria: cada um dos módulos realizam muitas sub-tarefas sequencialmente ordenadas que têm que ser terminadas antes que o próximo módulo



possa começar. A execução sequencial destes módulos, selecionando primeiramente uma máquina, então as preparações, então os métodos de usinagem, então as ferramentas, etc, freqüentemente consome muito tempo. É difícil fazer decisões nos primeiros módulos devido a falta de informações sobre as conseqüências destas decisões nos módulos sucessivos. Os problemas são causados pela exclusão de alternativas factíveis em estágios preliminares, iniciais. O cálculo de todas as soluções factíveis levará a uma explosão combinatorial. Para o PART, foi decidido portanto que as sub-tarefas de planejamento devam rodar em paralelo sempre que possível e se comunicar. Estas decisões formam a base da concepção do PART. Um módulo do PART abrange um conjunto de tarefas, cada uma delas representando uma função específica de planejamento de processo que pode ser resolvida individualmente. A figura 31 mostra uma representação esquemática do sistema PART.

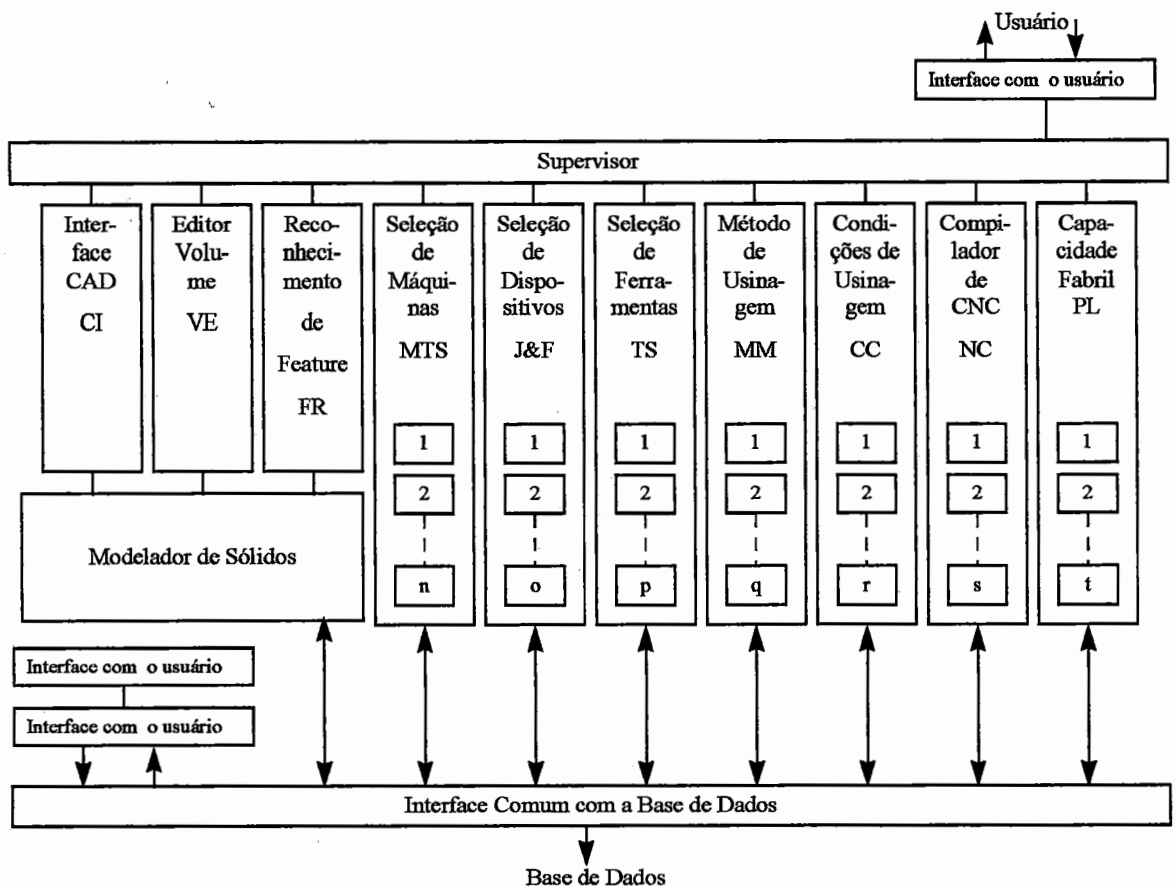


Figura 31: Representação esquemática da concepção do PART

As tarefas de planejamento são agrupadas em seis módulos, cobrindo:

- Seleção de Máquinas (MTS)
- Seleção de Dispositivos de Fixação (J&F)
- Seleção de métodos de usinagem e seqüências (MM)
- Seleção de ferramentas de corte (TS)
- Cálculo de condições de usinagem e geração de caminhos de ferramentas (CC)
- Planejamento de Capacidade (PL)

Os módulos de entrada e saída manipulam:

- Entrada e Saída de sistemas CAD (CI)
- Extração de features de manufatura (FR)
- Criação e modificação de modelos geométricos (VE)
- Geração de programas CN e documentos relacionados (NC)

Outros componentes importantes são:

- O supervisor
- A interface com o usuário
- A base de dados relacional
- O módulo de ajuste

O supervisor é o responsável pela coordenação de todos os módulos. Ele inicia, monitora e termina os processos em diversas CPUs pela rede. Para iniciar as fases utiliza uma seqüência pré-estabelecida pelo “cenário” adotado. O cenário descreve em qual seqüência as funções ou sub-funções devem ser ativadas, além de especificar quais funções podem ser feitas em paralelo e o que deve ser feito se uma delas terminar anormalmente. Os cenários são especificados por uma linguagem, a SSL (*Scenario Specification Language*), que permite grande flexibilidade no ajuste do PART.

#### CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

O PART foi desenvolvido em C, sob plataforma DEC, rodando DEC Windows. Ele acessa uma base de dados relacional DEC-RDB através de SQL.

#### 2.8.4. Process Innovator

O Process Innovator é um sistema CAPP híbrido (variante e generativo interativo), vendido pela CIMtelligence nos EUA, que permite a geração de planos de processo para quaisquer tipos de peças, gerando ilustrações, instruções e outros detalhes.

Ele permite:

- .Categorização de especificações de projeto e planos de processo usando gerenciadores de bancos de dados relacionais.
- .Classificação de peças
- .Integração gráfica com sistemas CAD com recursos de mrk-up.
- .Controle de revisões e segurança.

#### CONCEPÇÃO DO SISTEMA

O Process Innovator é composto por três módulos:

- Gerente do sistema- tem a capacidade de definir relatórios, estabelecer fluxo de trabalho e níveis de segurança para acesso ao sistema
- Autor- Cria ou aprova os planos de processo como definido nos níveis de segurança
- Visualizador- visualizador dos processos

#### CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

O sistema trabalha com arquitetura cliente-servidor de três camadas e roda em Windows, Windows NT, OS/2, Macintosh, SunOS, AIX e HP UX.

Gerenciadores de base de dados: Oracle, Sybase, DB2 e produtos com conectividade ODBC.

#### 2.8.5. SuperCAPES

O SuperCAPES (CAPES= *Computer Aided Process Planning and Estimating*) é comercializado pela SD-SCICON, uma empresa inglesa voltada a software de manufatura. Ele é um CAPP híbrido que engloba os conceitos de CAPP variante e

generativo automático, e conta com seleção de máquinas, ferramentas, cálculo de tempos e estimativa de custos.

Ele foi projetado para indústrias de manufatura discreta, normalmente gerenciadas por sistemas MRP, e oferece integração com CAD/CAM, MRPII e sistemas de gerenciamento de ferramentas. A parte variante do software utiliza a classificação MICLASS. A parte generativa do software trabalha com regras de produção.

### CONCEPÇÃO DO SISTEMA

O SuperCAPES é dividido em dois componentes principais:

- Software: incorpora algoritmos, utilitários e outras características necessárias ao planejamento do processo e estimativas de custo.
- Base de dados: fornece fundamentos para o software, é acessada, manipulada e combinada pelo software para criar planos de processo. A base de dados consiste em informações sobre materiais, máquinas e especificações de centros de trabalho, tabelas MTM (*Method of Time Measurement*- tabelas de micro-movimentos humanos), fórmulas, etc. Ela pode ser estendida e modificada conforme a empresa.

O SuperCAPES tem três módulos básicos:

- MC: Usinagem e corte de metal
- GP: Módulo de edição geral para manufatura
- DR: Cadastro e manutenção das regras de decisão.

Os módulos opcionais são:

- Costing: fornece custos conforme a estrutura de produto
- Archive: arquivamento de dados inativos.
- Import/Export: transferência de dados entre o SuperCAPES e outros sistemas, como CAD/CAM, MRPII e gerenciamento de ferramentas.
- Work-to lists: criação de listas de atividades e controle da carga de trabalho departamental e prioridades.
- Miclass: classificação e codificação em tecnologia de grupo.
- Report Generator: criação de relatórios para usuários específicos.

## CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

O sistema roda em UNIX em DECVAX, MicroVAX 3100, HP9000, HP/UX, PC (SCO).

### *2.9. Síntese da Situação Atual*

Apesar do grande número de sistemas CAPP implementados, há realmente poucos aplicáveis na prática. Mesmo o PART, um sistema CAPP que recebeu injeção maciça de recursos e é reconhecido como de maior sucesso no mundo acadêmico, tem hoje pouca aplicação real em indústrias (em 1996 foram reportados 12 usuários no mundo). Tal ausência de aplicação é relacionada ao enfoque de automação total e restrição do campo de atuação. Neste momento estão surgindo sistemas CAPP voltados a uma aplicação de maior espectro, sem necessariamente automatizar todo o processo de geração de um plano, e parece tendência o desenvolvimento de sistemas CAPP que consigam atender a todas as atividades de planejamento de maneira superficial, e, onde a atividade de planejamento for completamente conhecida, aplicar-se técnicas de automação.

### **3. Requisitos para o desenvolvimento de um sistema CAPP para peças paramétricas**

Um CAPP para peças paramétricas deve atender a diversos requisitos para seja possível utilizá-lo dentro de um ambiente fabril real. Seguem abaixo os principais requisitos e respectivas justificativas:

a) Alta precisão e velocidade na geração de roteiros:

Normalmente peças paramétricas, dadas as suas características de geometria relativamente simples, são produzidas em linha ou em células de alta produção. Estes ambientes requerem grande velocidade de preparação, para que os lotes de produção sejam reduzidos. Junto a isto, a variedade de produção também é grande, devido a pressão constante do mercado por novos produtos. O plano de processo deve ser então gerado no menor espaço de tempo possível entre a especificação do produto (e pedido) e o início de produção. É comum encontrar-se empresas em que a produção é iniciada sem o plano de processo pronto, o que gera desde problemas de qualidade até de sincronização de suprimento de material.

b) Integração com desenvolvimento de produto:

Os desenhos dos produtos em ambientes de produção de peças paramétricas são gerados com sistemas CAD paramétricos, ou então através de especificação manual dos valores dos parâmetros e desenho automático do produto através de um programa na linguagem nativa do sistema CAD. Todas estas informações são imprescindíveis para a geração do plano de processo, e não devem ser novamente informadas quando o planejamento iniciar, devido ao retrabalho e possível perda/imprecisão de informações.

c) Fornecer recursos para classificar e parametrizar os produtos:

Sistemas CAPP variantes normalmente oferecem facilidades de classificação de produtos integrados a suas funções de planejamento de processo. Em ambientes de fabricação de peças paramétricas, a aplicação de tecnologia de grupo tem grande vantagem para recuperação de planos semelhantes e aproveitamento destas informações.

d) Trabalhar com features:

Os features são importantes elementos de engenharia e normalmente sofrem operações, daí sua importância para o planejamento de processo. Em se falando de peças paramétricas, os features podem ser agrupadores dos parâmetros, facilitando o entendimento destes.

e) Geração automática de desenhos:

As células ou linhas de produção devem ser alimentadas com instruções claras para sua preparação e produção. O desenho é uma das melhores formas de representação de idéias, entretanto este consome muito tempo para ser gerado. A geração automática de desenhos de produção é fundamental para garantir a velocidade da geração dos processos.

f) Apoio no desenvolvimento de ferramentas e dispositivos para usinagem e fixação dos produtos:

As células ou linhas de fabricação dedicadas a produção de produtos parametrizáveis normalmente requerem ferramental desenhado especificamente para a célula-linha-produto, devido a característica de alta produção deste ambiente. A geração deste ferramental normalmente é o maior gargalo na produção. Uma das funções de planejamento é a escolha de ferramental, daí um sistema CAPP deve interagir com o banco de ferramentas disponíveis e facilitar sua escolha e até mesmo sua especificação para construção.

g) Minimizar a proliferação de ferramentas idênticas:

Como supracitado, ambientes fabris de produção de peças paramétricas normalmente contam com ferramental dedicado a produção de cada produto. Nota-se, entretanto, que embora o conjunto de todas as ferramentas para um produto normalmente varie, algumas ferramentas são individualmente idênticas. O sistema CAPP deve auxiliar na eliminação destas ferramentas idênticas, minimizando o custo do inventário ativo.

h) Possibilitar o cálculo de parâmetros do ferramental:

Como normalmente parte do ferramental é gerado especificamente para cada produto, este está intimamente ligado a geometria final do produto, que é paramétrica, daí o ferramental também ser parametrizável. Para máxima velocidade na escolha das ferramentas, é importante que este processo seja automático, ou seja, deve-se poder calcular cada um dos parâmetros de cada uma das ferramentas em função dos parâmetros do produto.

i) Garantir o controle de versão e revisão de cada um dos documentos gerados:

Os requisitos da ISO-9000 e mais atualmente da QS-9000 exigem um controle rígido das versões dos documentos e o que cada revisão alterou, para que seja possível rastrear defeitos em produtos e estabelecer novos procedimentos para evitar estes defeitos. Como o CAPP é o responsável pela geração dos planos, este deve também controlá-los.

j) Interface amigável com o usuário:

Conforme mostrado no capítulo 2, uma das razões de falha dos CAPP automáticos era a complexidade de manipulação dos planos de processo e manutenção das regras de automação. O sistema CAPP deve fornecer uma interface que permita manutenção simples nas regras de automação e fácil manipulação dos planos de processo, preferencialmente através de interface gráfica.

k) Abertura e transparência dos dados:

O sistema CAPP não deve ser uma ilha de automação. Ele deve prover meios de acesso a todos os seus dados (através de uma consulta em SQL, por exemplo) para



que estes possam ser compartilhados com outras aplicações. O uso de gerenciadores de bases de dados comerciais tem se tornado uma obrigação neste aspecto, devido a facilidade com que os dados podem ser manipulados e possibilidade de integração com outras aplicações até em tempo real, se necessário.

## 4. Concepção do sistema

### 4.1. Método Adotado

A partir da análise realizada nas soluções existentes no mercado, concluiu-se que nenhuma delas conseguiria atender os requisitos acima estabelecidos. Escrever uma solução CAPP completa do zero consumiria tempo demais. Restou então buscar a solução que mais se aproximasse dos requisitos acima e que tivesse uma estrutura suficientemente flexível para implementar modificações que permitissem atingir os requisitos.

Entre todas as soluções analisadas, a que fornecia maior flexibilidade e acesso para alterações estruturais foi o CAPPE (*Computer Aided Process Planning Environment*), analisado no item 2.7.1. Sua estrutura já contava com recursos interessantes para classificação de ferramentas e com um dicionário de dados estruturado, utilizado para ligar parâmetros às ferramentas, o que constituía uma boa fundação para construção de um sistema de classificação de produtos.

Segue uma análise de aderência dos requisitos:

a) Alta precisão e velocidade na geração de roteiros:

Apesar do sistema CAPPE proporcionar um aumento médio de duas vezes na produtividade em relação ao método manual, tal velocidade ainda não é suficiente.

b) Integração com desenvolvimento de produto:

O CAPPE oferece um sistema para cadastro de produtos que permite cadastro de dados organizacionais em geral além de possibilitar a ligação com um desenho CAD. Não há suporte a parametrização de produtos ou leitura de dados paramétricos do CAD.

c) Fornecer recursos para classificar e parametrizar os produtos:

Não há suporte.

d) Trabalhar com features:

Não há suporte.

e) Geração automática de desenhos:

Há métodos elaborados para integração com CAD que permitem que sejam ligados vários desenhos a uma operação, e a automação atinge somente a montagem de um formulário com os dados digitados no CAPPE.

f) Apoio no desenvolvimento de ferramentas e dispositivos para usinagem e fixação dos produtos:

O CAPPE fornece um cadastro paramétrico de ferramentas e dispositivos que permite definição de parâmetros quaisquer para as ferramentas.

g) Minimizar a proliferação de ferramentas idênticas:

Através do cadastro paramétrico é possível realizar-se filtros que ajudem a encontrar ferramentas idênticas, entretanto isto não é automático.

h) Possibilitar o cálculo de parâmetros do ferramental:

Não há suporte.

i) Garantir o controle de versão e revisão de cada um dos documentos gerados:

O controle de acesso aos documentos é feito através de um sofisticado sistema de cadastro de usuários que permite 240 níveis de acesso diferentes. Os planos de processo revisados podem ser armazenados e há um registro de todas as modificações ocorridas.

j) Interface amigável com o usuário:

A interface com o usuário no que tange a manipulação de planos é bastante amigável, sob ambiente Windows. Não há interface para alimentação de regras.

k) Abertura e transparência dos dados:

O CAPPE foi implementado usando gerenciadores de banco de dados relacionais comerciais (Oracle, Sybase), o acesso aos dados é transparente e simples.

Abaixo será mostrada uma visão geral do sistema, que ilustrará de onde partiu-se para a implementação de um CAPP para peças paramétricas, e em seguida serão mostradas as modificações necessárias para se atingir os requisitos estabelecidos no capítulo 3.

#### ***4.2. Visão geral do sistema***

A intenção deste item é mostrar o ponto de partida usada para a construção de um CAPP para peças paramétricas.

Conforme mostrado em 2.7.1, o sistema CAPPE conta com uma estrutura modular que permite adição de funcionalidades específicas. Com um pouco mais de detalhe, toda a estrutura do CAPPE é montada por cima de um dicionário de variáveis e unidades, a partir das quais o usuário consegue definir seus padrões de maneira paramétrica.

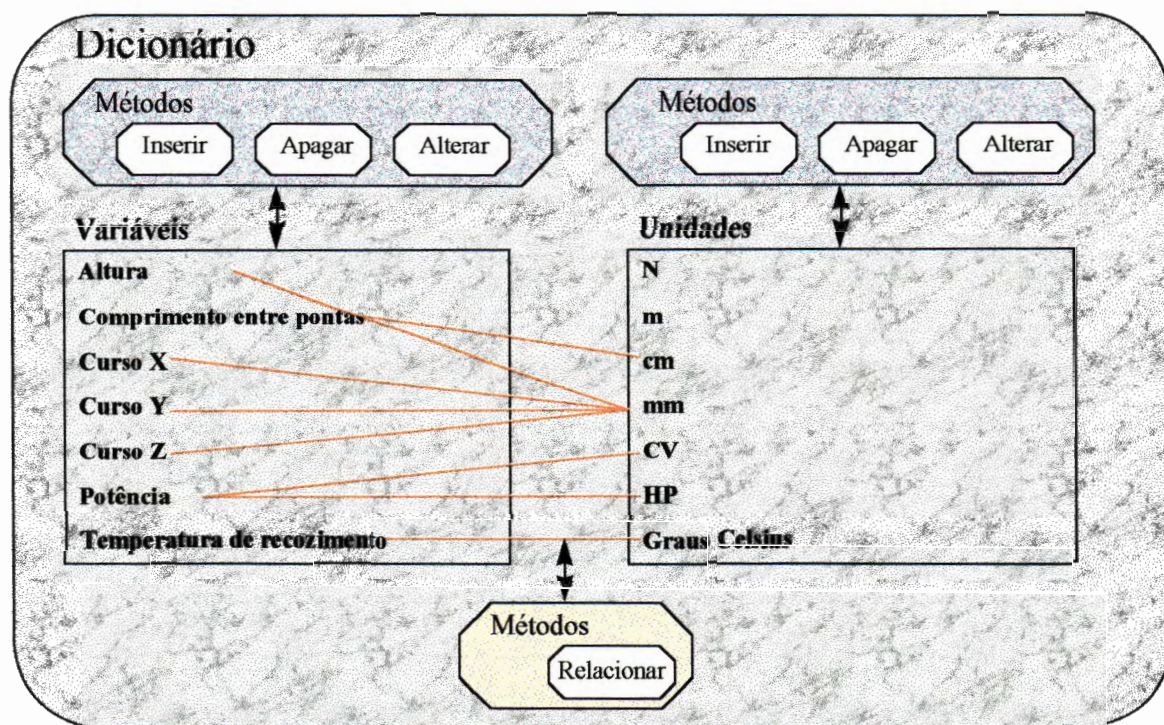


Figura 32: Dicionário de Variáveis do CAPPE

Na figura 32 pode-se ter uma visão mais detalhada do dicionário de variáveis do CAPPE. Através dele, pode-se adicionar, alterar ou apagar uma variável qualquer (através de seus respectivos métodos), assim como pode-se adicionar, alterar ou apagar uma unidade qualquer (também através dos seus respectivos métodos). Após a criação de variáveis e unidades, é possível relacionar as variáveis com as unidades, indicando ao sistema quais são as unidades válidas para cada variável. Pode-se também definir fatores de conversão entre as unidades.

Outros elementos fundamentais do CAPPE são os recursos e as classificações. Há dois tipos de recursos (figura 33): recursos simples- tipo operação- e recursos múltiplos. Os recursos simples permitem definir operações padrão em geral, e os múltiplos permitem definir famílias de objetos que contêm variáveis comuns. A classificação permite ao usuário a montagem de um menu que classifica o tipo de recurso. No exemplo da figura, mostra-se uma operação padrão de Furar Centro, definida em dois níveis de menu, e uma família de brocas de centro, também definida em dois níveis de menu. Uma vez definida a classificação, pode-se ligar a ela

parâmetros. No exemplo, ligou-se a classificação Furar Centro o parâmetro Prof. Corte (profundidade de corte). Para o caso de um recurso simples, o parâmetro influenciará como o texto padrão da operação agirá quando este for usado (Note o texto com “[1]{1}” no Texto da Operação- estes números indicam ao sistema para colocar o primeiro parâmetro e sua respectiva unidade na posição escolhida). Para o caso de um recurso múltiplo, os parâmetros definem que variáveis os objetos inseridos na classificação determinada devem ter (no exemplo, todas as Brocas de Centro devem ter “Diam. Menor”, “Diam. Maior”, “Ângulo”, “Comprimento”, “Nome” e “Código”).

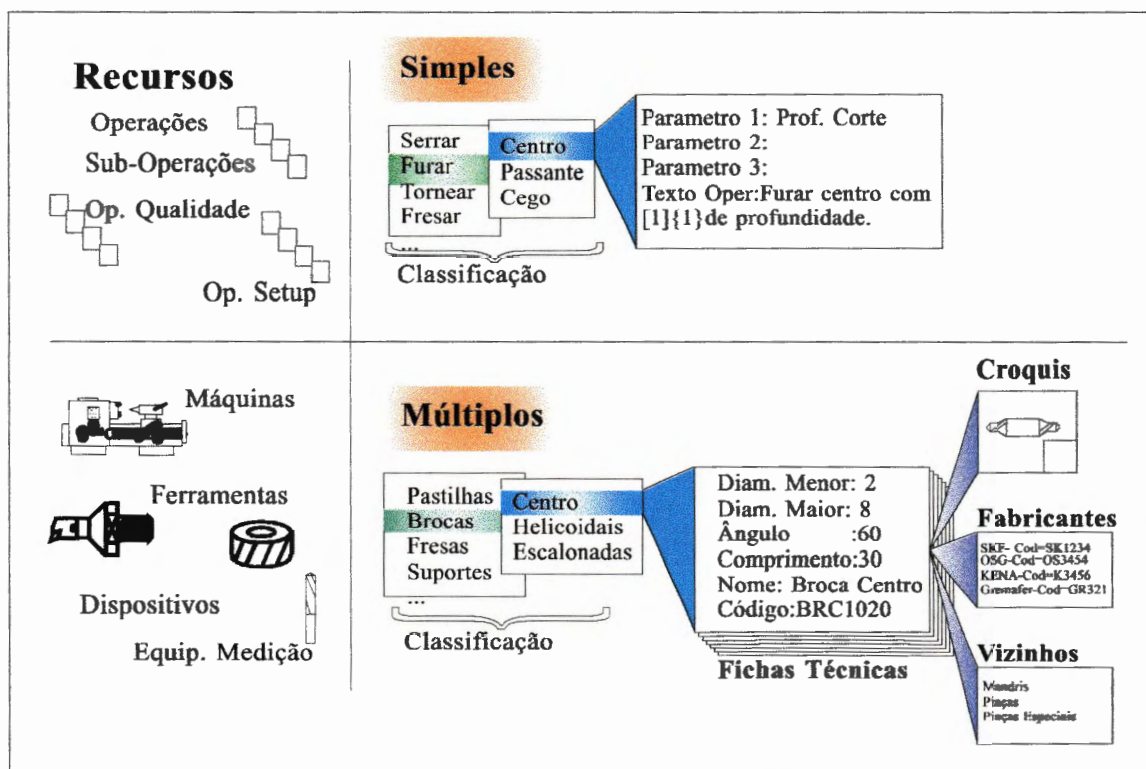


Figura 33: Conceituação de Recursos e Classificação no CAPPE

No conceito básico do CAPPE, recursos simples podem ser operações padrão do tipo macro, sub-operação, qualidade, setup, e quantas forem as necessárias. Já os recursos múltiplos podem ser máquinas, ferramentas, dispositivos, equipamentos de medição, entre outros (ferramental em geral). A cada ferramenta pode-se ligar um croquis, múltiplos fabricantes e vizinhos (vizinhos são objetos de outras classificações que se

relacionam com a classificação. Por exemplo, uma pastilha é vizinha de um porta ferramentas).

Todos os parâmetros ligados a cada tipo de recurso são na verdade variáveis definidas no dicionário de variáveis do sistema.

Como supracitado na análise dos requisitos, o CAPPE também disponibiliza um sistema para cadastro de itens, que são a base para se confeccionar um plano de processo.

#### ***4.3. Modelo operacional do sistema***

Dada a base acima, com algumas modificações pôde-se obter um sistema CAPP para peças paramétricas. A figura 34 mostra as alterações feitas sobre os módulos de uma maneira geral, e abaixo são mostradas mais detalhadamente as modificações projetadas. As modificações são apresentadas na forma de modificações no modelo de dados (quando estas existem), representadas com um MER (Modelo Entidade-Relacionamento), e métodos acrescentados/modificados para cada objeto alterado. A especificação completa das implementações é muito extensa e não faz parte do escopo deste trabalho.

##### **I) Classificação de itens.**

I.a) Tornar os itens classificáveis assim como máquinas e ferramentas. Desta maneira variáveis do dicionário podem ser ligadas aos itens, tornando-os parametrizáveis:

I.b) Criar o conceito de “features”, através do qual pode-se agrupar diversas variáveis sob um feature, facilitando a pesquisa de produtos com muitos parâmetros.

Alterações na base de dados:

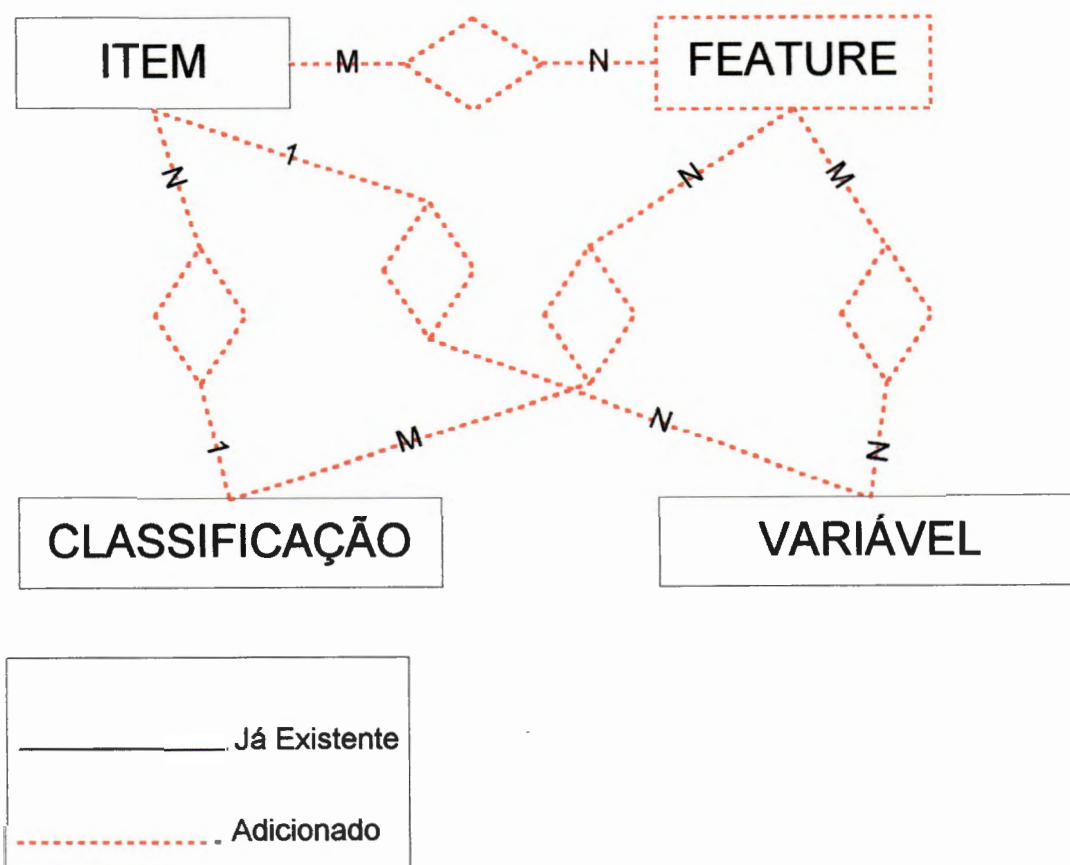


Figura 34: Alterações no modelo de dados do CAPPE para suporte a features

Métodos criados/alterados:

**Feature.Inserir():** cria um novo feature na base de dados, disponibilizando-o para ligação aos itens.

**Feature.Apagar():** apaga um feature da base. Caso o feature esteja ligado a itens, as variáveis de cada peça que usa este feature antes de proceder a eliminação das variáveis de cada variável do feature.

**Feature.InserirVariável():** insere uma nova variável no feature e propaga a modificação para todos os itens que utilizem o feature.

**Feature.ApagarVariável():** elimina uma variável de um feature. Caso o feature seja usado em itens, as variáveis destes itens são apagadas.

**Classificação.InserirItem():** liga um item a uma classificação. Caso a classificação esteja ligada a features, os features são automaticamente inseridos no item.



**Classificação.DesligarItem():** desliga um item de uma classificação. Caso o item contenha variáveis ou features, estas são destruídas antes do desligamento.

**Classificação.InserirFeature():** associa mais um feature a uma classificação. Caso a classificação contenha itens, estes herdam as variáveis do feature.

**Classificação.ApagarFeature():** elimina um feature de uma classificação. Caso a classificação contenha itens, estes perdem as variáveis do feature retirado.

**Item.InserirFeature():** permite que um feature da classificação em que o item se encontra seja inserido no item (consequentemente suas variáveis são inseridas). Caso o item já contenha o feature, uma nova instância das variáveis deste feature é criada.

**Item.ApagarFeature():** elimina um feature de um item, desligando todas as variáveis do feature deste item.

## II) Cálculo Automático

II.a) Alterar o sistema de cálculo de tempos existente e transformá-lo em um sistema genérico de processamento de fórmulas. Tais fórmulas podem conter expressões matemáticas comuns e referências a tabelas.

II.b) Construir um sistema que permita a ligação das variáveis das fórmulas a variáveis do dicionário de variáveis e o que permita o retorno do resultado em qualquer variável do sistema, instanciada em qualquer recurso.

Alterações no modelo de dados:

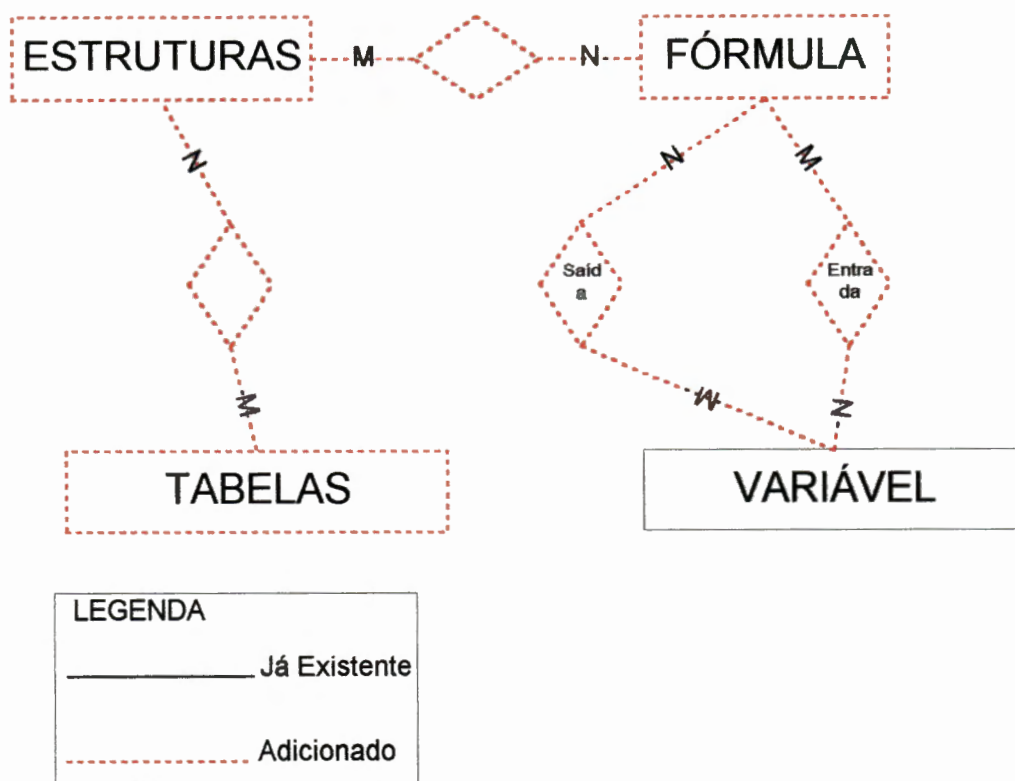


Figura 35: Alterações no modelo de dados para suportar a existência de fórmulas

Métodos criados/alterados:

Fórmula.Inserir(): insere uma nova fórmula na base de dados.

Fórmula.Apagar(): apaga uma fórmula da base de dados, eliminando todas as variáveis que esta fórmula contenha.

Fórmula.RelacionarVarEntrada(): relaciona as variáveis da fórmula a variáveis do dicionário de variáveis.

Fórmula.RelacionarVarSaída(): relaciona o resultado do cálculo da fórmula a uma variável de um recurso qualquer do sistema.

Fórmula.CalcularEstrutura(): resolve uma estrutura (tabela) relacionada a uma fórmula.

Fórmula.Calcular(): resolve a fórmula, substituindo todas as variáveis e avaliando o resultado.

Estrutura.Inserir(): Insere uma nova estrutura na base de dados.

Estrutura.Apagar(): Elimina uma estrutura da base de dados.

Estrutura.LigarTabela(): liga uma tabela a uma estrutura de cálculo.

Estrutura.DesligarTabela(): desliga uma tabela de uma estrutura de cálculo.

Tabela.Inserir(): insere uma nova tabela na base de dados.

Tabela.Apagar(): elimina uma tabela da base de dados.

### III) Comunicação com CAD

III.a) Construir um sistema para envio de parâmetros a um sistema CAD. Inicialmente focalizar-se-á o AutoCAD.

III.b) Permitir que sejam ligados a cada classificação de recursos simples ou múltiplos programas CAD ou arquivos de parâmetros que instruirão ao CAD usado como realizar o desenho de cada ferramenta ou cada operação.

Alterações na base de dados:

Não há.

Métodos criados/alterados:

LinkCAD.EnviaFraseDDE(): através de uma ligação DDE (Direct Data Exchange), envia uma string para um CAD qualquer que seja servidor DDE.

LinkCAD.EnviaParametro(): através de EnviaFraseDDE, envia uma frase que define o parâmetro em um sistema CAD. Para cada CAD há uma sintaxe para definição dos parâmetros.

Classificação.DefinirClassificação(): alterado para comportar a definição de programas CAD a serem enviados ao CAD quando necessário.

## 5. Implementação do Sistema

A implementação das especificações mostradas acima exige primeiramente a determinação de uma ferramenta computacional adequada, o que se discute no próximo item. Segue-se então a uma breve descrição funcional de cada módulo para ilustrar o processo de desenvolvimento de cada módulo.

### 5.1. Seleção de ferramentas computacionais

O custo de equipamentos compatíveis como o padrão IBM-PC/AT tem diminuído vertiginosamente, ao mesmo tempo em que sua potência em termos de velocidade de processamento e capacidade de armazenamento têm crescido.

Ao mesmo tempo, do lado do software, o padrão de interface com o usuário Windows, da Microsoft, tem se firmado cada vez mais no mercado, apesar dos esforços da IBM em promover o estável OS/2.

Parece-nos claro, portanto, que em se falando de GUI para soluções de baixo custo e larga aplicabilidade o caminho é o Windows, seja 16 bits (Windows 3.1) para aplicações low-end ou 32 bits (Windows NT e talvez Windows 95) para aplicações “high-end”.

Partiu-se então para estudo de diversas ferramentas que facilitassem o desenvolvimento no ambiente Windows, sem esquecer da fundamental integração com bancos de dados cliente-servidor SQL.

Os requisitos principais que tal ferramenta de desenvolvimento deveria atender seguem abaixo:

(a)- Oferecer uma interface simples e produtiva para geração de interface com o usuário. Através desta interface deve ser possível gerar toda a aparência do software com um mínimo de linhas de código descritivas. Da experiência de desenvolvimento anterior em DOS, 60% a 70% do código gerado foi devido a interface com o usuário.

- (b)- Oferecer integração com diversas bases de dados cliente servidor, prioritariamente Oracle devido ao sua abrangência de mercado, em formato nativo de preferência, isto é, conexão direta com o RDBMS (*Relational Data Base Management System* - Gerenciador de Banco de Dados Relacional), não através de interface ODBC (*Open Data Base Connectivity*- Conexão a Base de Dados Aberta- padrão de conexão da Microsoft) devido a problemas de performance.
- (c)- Oferecer orientação a objetos, no que tange a herança, encapsulamento e polimorfismo.
- (d)- Oferecer serviços básicos do ambiente Windows com pouca codificação: Impressão, OLE (*Object Linking and Embedding*- Ligação e Embutimento de Objetos), DDE (*Direct Data Exchange*- Troca Direta de Dados entre aplicativos), *Drag-and-Drop* (Arrastar e Soltar), Multimídia, EDI (*Eletronic Data Interchange* - Troca de Dados Eletrônica) e E-Mail (*Eletronic Mail*- Correio Eletrônico).
- (e)- Se possível, suportar geração de código 32 bits para gerar aplicações de alta performance sob Windows NT.
- (f)- Suportar integração com outras linguagens.
- (g)- Produtividade alta na geração de código, com pouco scripting.
- (h)- Facilidade de se aprender e treinar pessoal rapidamente na nova ferramenta.

No início de 1995, podia-se encontrar basicamente 3 linguagens candidatas a uma avaliação: Visual Basic da Microsoft, Powerbuilder da Powersoft e SQLWindows da Gupta. Foi então realizado um benchmarking para avaliação destas ferramentas, e seguem abaixo os resultados deste teste. Deve-se ter em mente que tal teste foi voltado às necessidades de desenvolvimento de CAPP, e não necessariamente aplicável a todos os tipos de aplicação.

Funcionalidade	Visual Basic	PowerBuilder	SQLWindows
(a)-Geração de Interface	3	5	3
(b)-Base de Dados	2	5	4

(c)- Orientação a Objetos	0	4	5
(d)- Serviços do Windows	3	4	5
(e)- Código 32 Bits	0	4	4
(f)- Integração com outras linguagens	4	4	5
(g)- Produtividade na geração de código	3	5	3
(h)- Curva de aprendizado rápida	4	4	3

**Tabela 2: Comparação entre as linguagens disponíveis para desenvolvimento**

Após o benchmarking viemos a adotar o PowerBuilder como nossa linguagem de programação básica apoiada por C++ onde necessário.

Não é objetivo deste relatório explicar completamente o funcionamento do Powerbuilder, entretanto segue um breve descritivo para situar o ambiente de desenvolvimento intimamente ligado a base de dados cliente-servidor adquirido.

#### 5.1.1- Visão geral do PowerBuilder

O Powerbuilder é uma linguagem de quarta geração orientada a eventos com suporte limitado a orientação a objetos e conexão nativa a diversos servidores de banco de dados, entre eles: Oracle v.6 e v.7, Sybase system 10, SQL server 4.x, Watcom SQL, IBM DB/2, Informix, entre outros.

Basicamente, uma aplicação gerada com o Powerbuilder contém os seguintes objetos básicos:

-DataWindow: o objeto datawindow provê aos desenvolvedores uma maneira simples de recuperação, exibição e atualização dos dados de uma determinada fonte de dados. Apesar da fonte de dados ser normalmente uma base de dados SQL, ela pode ser um arquivo texto, ou uma estrutura de dados. O objeto datawindow permite ao

desenvolvedor a definição da fonte de dados e dos meios para recuperar os dados como também o estilo de apresentação dos dados, máscaras de edição e critérios de validação dos dados.

O objeto `datawindow` pode ser incorporado a outros objetos do Powerbuilder, por exemplo um objeto `window`, tornando-se então instanciado neste objeto como um "controle", incorporando uma série de eventos do Windows, sob os quais o programador pode adicionar código, fazendo com que a aplicação tome o rumo determinado.

- Menu: os menus são o método padrão para interfaceamento entre o usuário e a aplicação. Os menus permitem que o usuário navegue através da aplicação e executem tarefas específicas com um mínimo de experiência prévia, segundo o padrão GUI. O PowerBuilder permite o desenho interativo de todos os menus e a ligação de código a cada um dos eventos associados aos itens de menu, por exemplo, um "click de mouse".

- Window: praticamente toda aplicação do Powerbuilder usa o objeto `Window`, pois ele é a forma usual de agrupar e apresentar diversos controles sobre a tela. O Powerbuilder permite o desenho interativo de diversos tipos de janelas (`Main`, `Popup`, `Child`, `Response`, `MDI Frame` e `MDI Frame com Microhelp`) e o posicionamento sobre estas janelas de diversos tipos de controles, como por exemplo `datawindows`, botões, *list-boxes*, *drop-down list boxes*, texto, *radio buttons*, *single-line e multi-line edits*, entre outros. Por meio do desenho da janela, posicionamento de seus controles e alguma codificação nos seus eventos, pode-se gerar uma aplicação simples em menos de uma hora.

- Funções: para atender aos requisitos de manutenibilidade de código, clareza e encapsulamento, podem ser utilizadas funções, que são objetos que executam uma série de comandos da linguagem ao serem chamados e aceitam diversos parâmetros e devolvem algum resultado. As funções podem ser puras, geradas no gerador de funções, ou funções particulares associadas a objetos `Window` ou `Menu`.

- User objects: o programador pode criar seus próprios objetos, visuais (uma `window`, por exemplo) ou não visuais (executam diversas funções não visuais). Através da

criação de objetos e dos mecanismos de herança e polimorfismo, pode-se criar classes básicas que provêm a equipe de desenvolvimento com uma base para geração de novos aplicativos.

## ***5.2. Visão da implementação***

Abaixo ilustraremos a implementação do proposto no capítulo 4 em três sub-itens, a saber: implementação do sistema de classificação, implementação do sistema de cálculo de fórmulas e implementação do sistema de envio de dados ao CAD.

### **5.2.1. Implementação do sistema de classificação**

Utilizando-se o paradigma MDI (Multiple Document Interface), o sistema de classificação foi desenvolvido dando acesso a três janelas principais e independentes: a janela de classificação de itens, a de definição de classificações e a de definição de features.

A figura 36 mostra a tela inicial do sistema de classificação requisitando a identificação do usuário. Conforme o usuário, determinadas funções não são



permitidas.

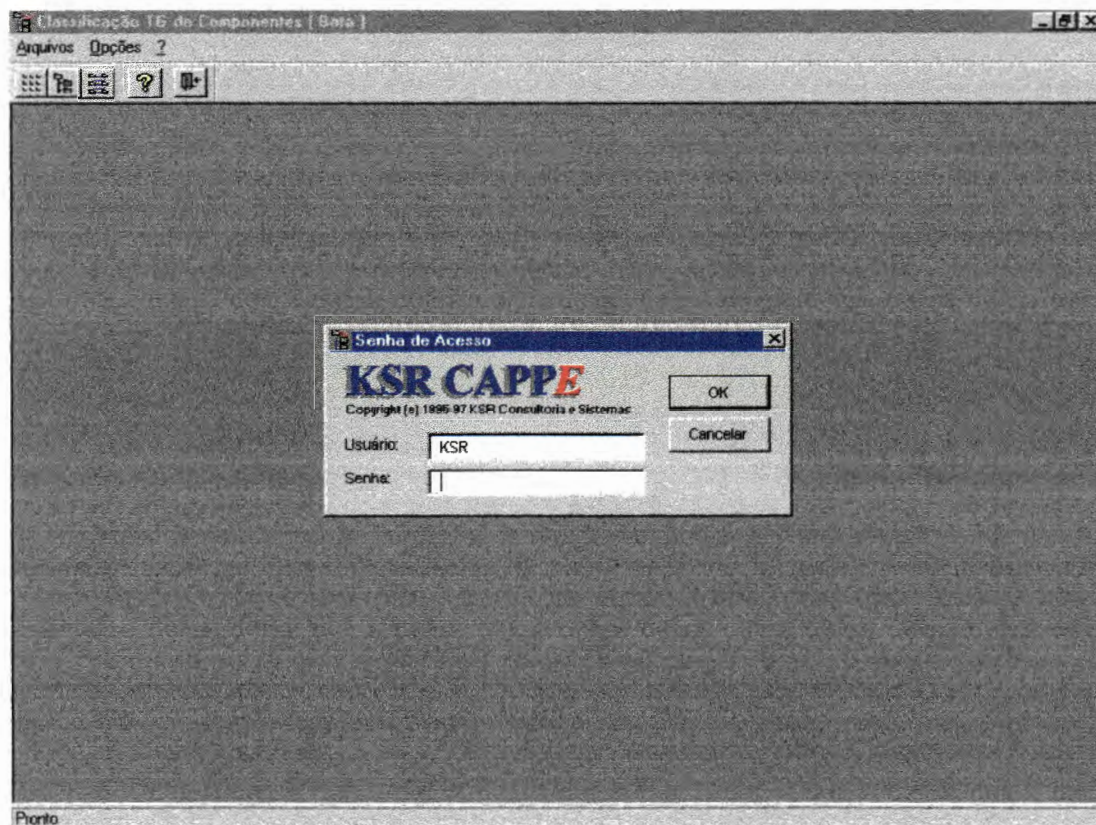


Figura 36: Tela inicial do sistema de classificação

#### 5.2.1.1- Sub-sistema de definição de features

Para criar features, basta selecionar o comando respectivo no menu, quando a tela apresentada é mostrada (figura 37)

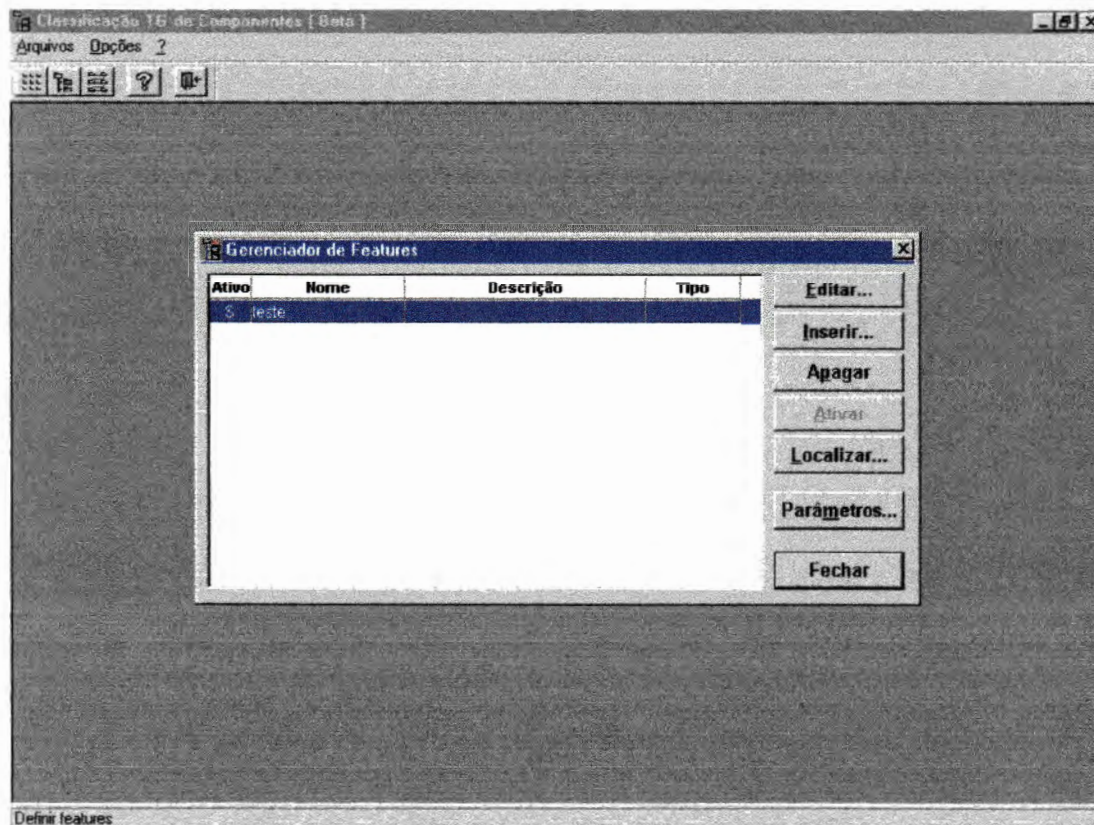


Figura 37: Tela principal do gerenciador de features

Para inserir um feature na lista de features disponíveis, pressiona-se o botão [Inserir...], que disponibiliza uma tela que permite o preenchimento das informações básicas do feature (figura 38)

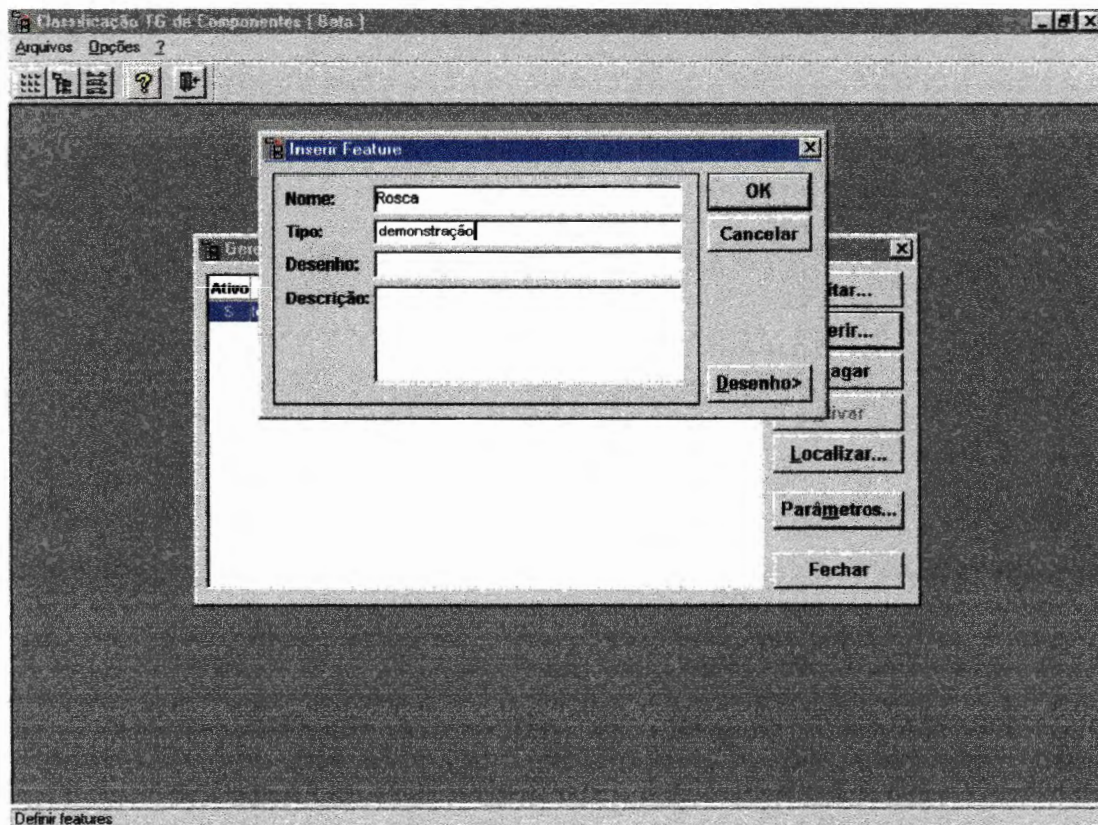


Figura 38: Inserindo um novo feature no gerenciador de features

Uma vez que o feature está definido, pode-se ligar a ele variáveis do dicionário de variáveis, pressionando-se o botão [Parâmetros...]. A figura 39 mostra esta situação

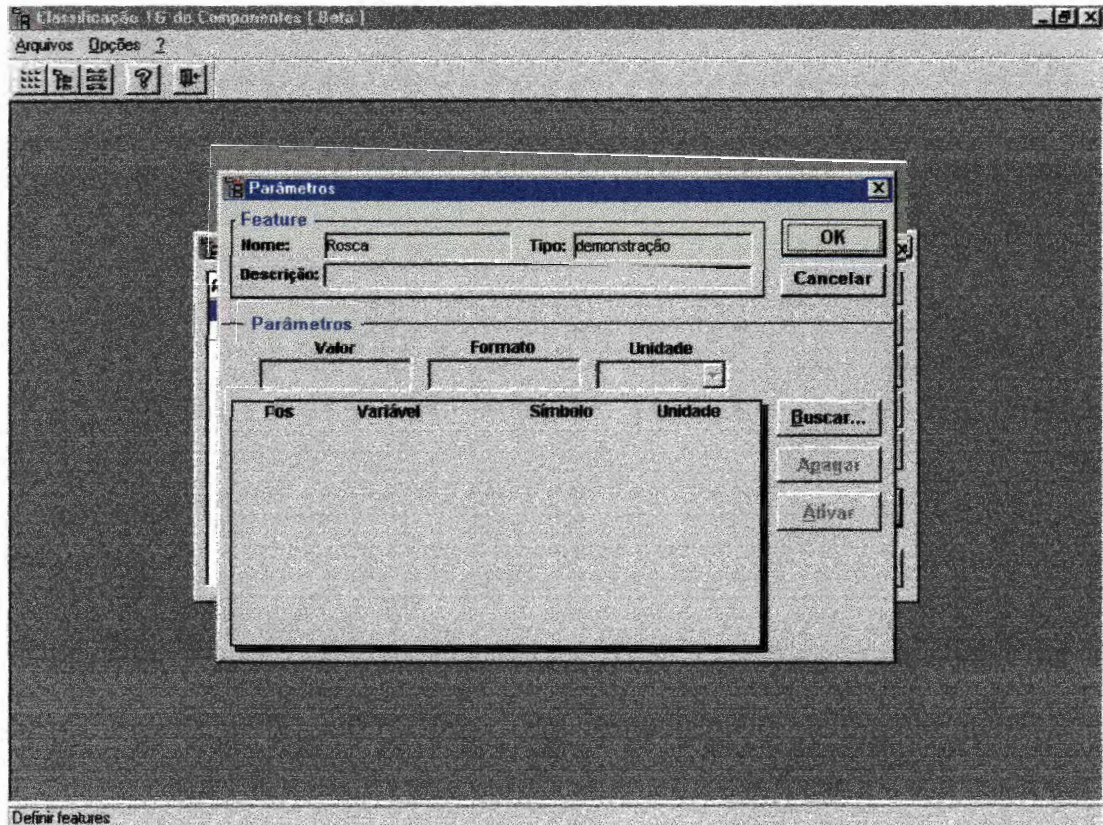


Figura 39: Ligando variáveis a um feature

O botão [Buscar...] permite buscar variáveis do dicionário já existentes, ilustrado na tela 40. Caso a variável não exista é possível criá-la nesta mesma tela

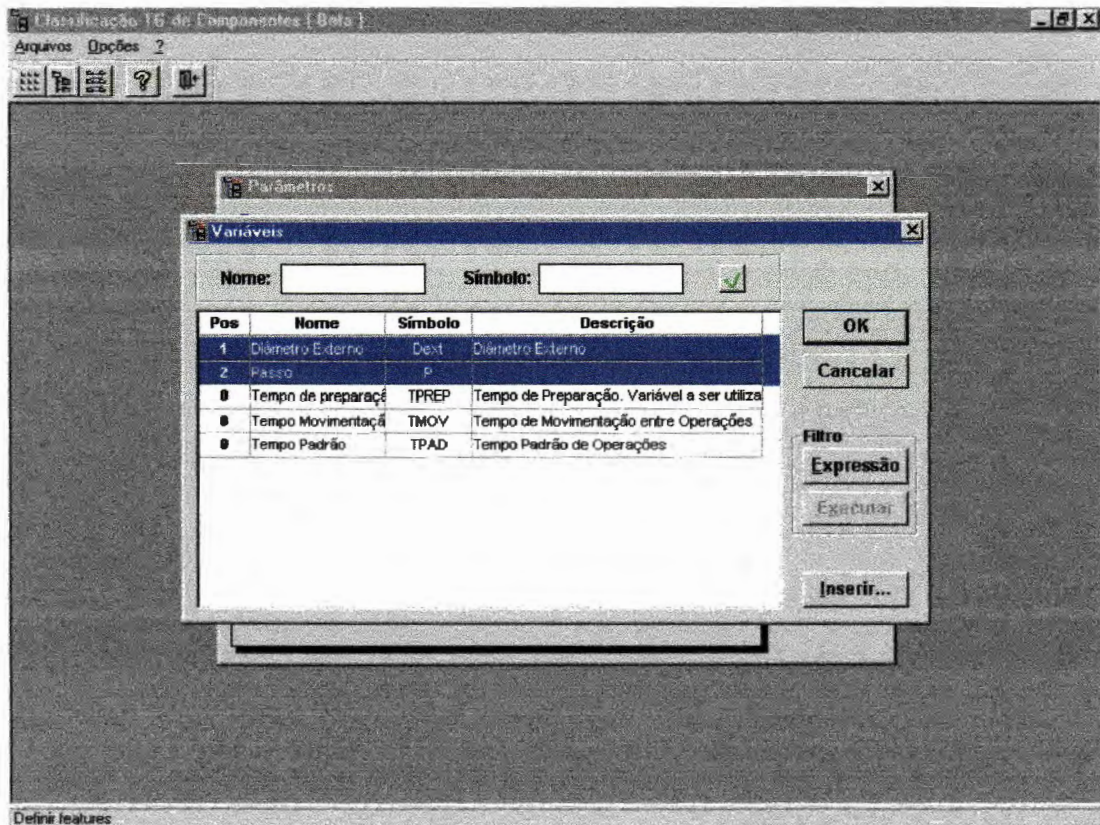


Figura 40: Selecionando variáveis para ligá-las a um feature

A figura 41 apresenta o feature recém-criado com as variáveis selecionadas

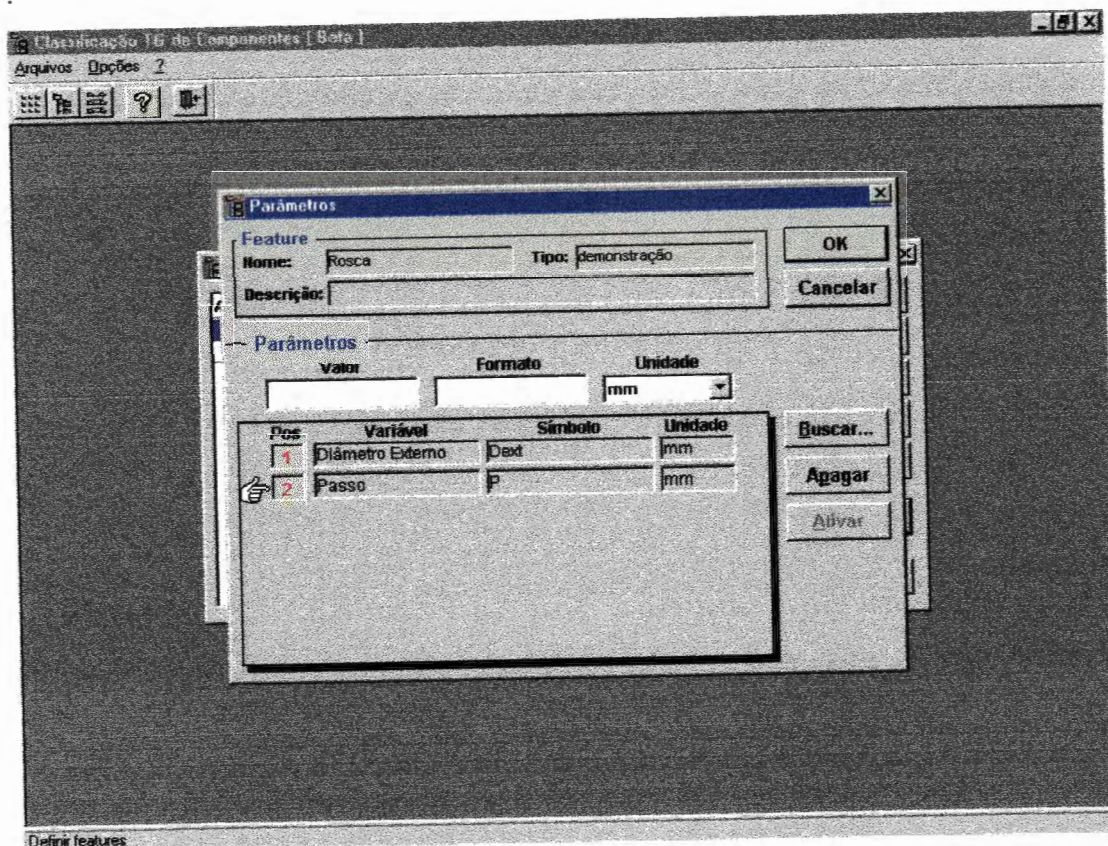


Figura 41: Variáveis ligadas a um feature

#### 5.2.1.2. Sub-sistema de definição de classificações

Uma vez definidos os features, é possível definir-se as classificações e associá-los a elas. A figura 42 mostra a tela inicial do sistema de definição de classificação

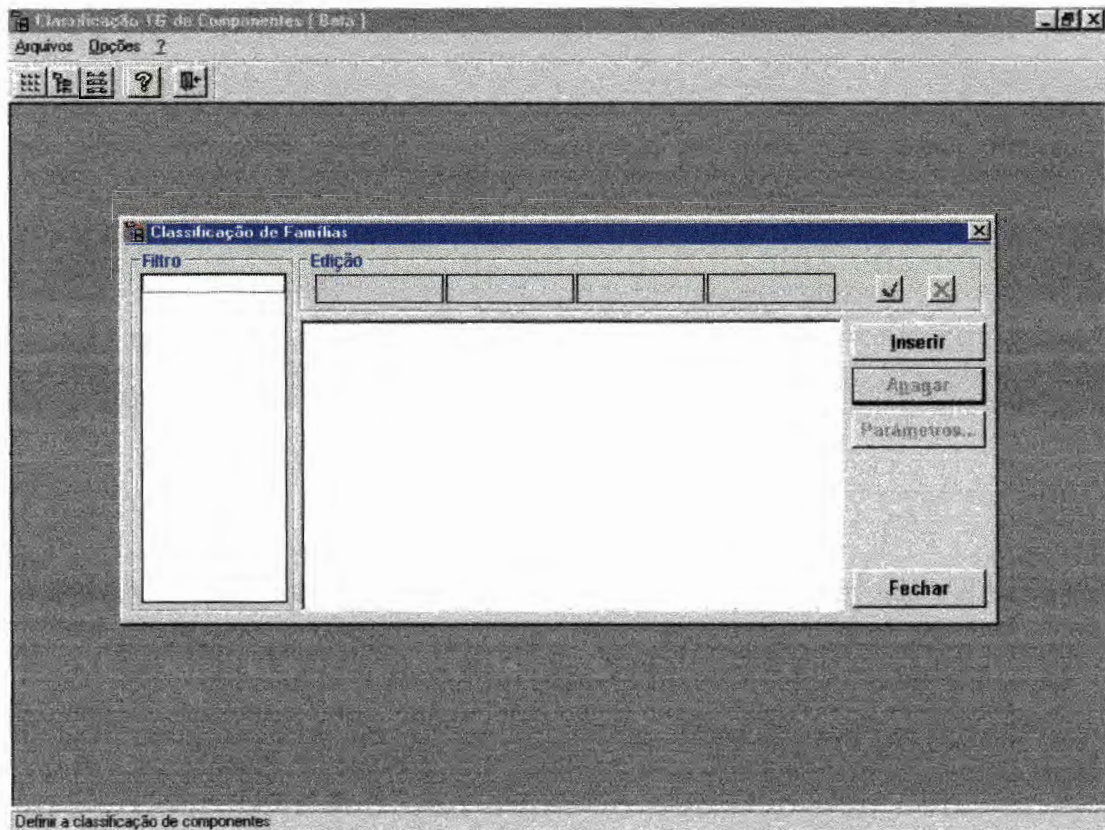


Figura 42: Tela inicial do sistema de classificação.

Para inserir uma nova classificação, o usuário deve pressionar [Inserir], quando o cursor é posicionado na tela superior e pode-se definir os quatro níveis de classificação conforme desejado. Na tela 43, por exemplo, a classificação “Parafusos Sextavados” está sendo criada

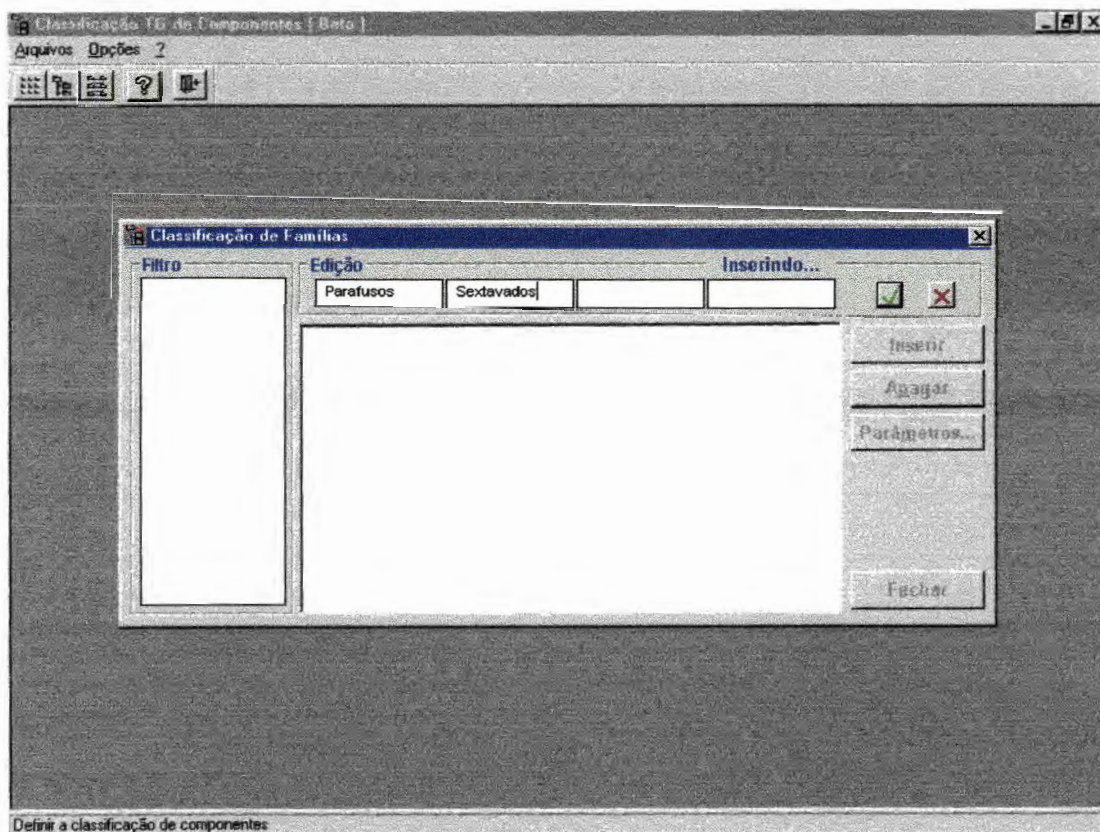


Figura 43: Criação de uma classificação

Após criada, pode-se ligar à classificação os parâmetros desejados pressionando-se [Parâmetros...], quando a tela da figura 44 é apresentada



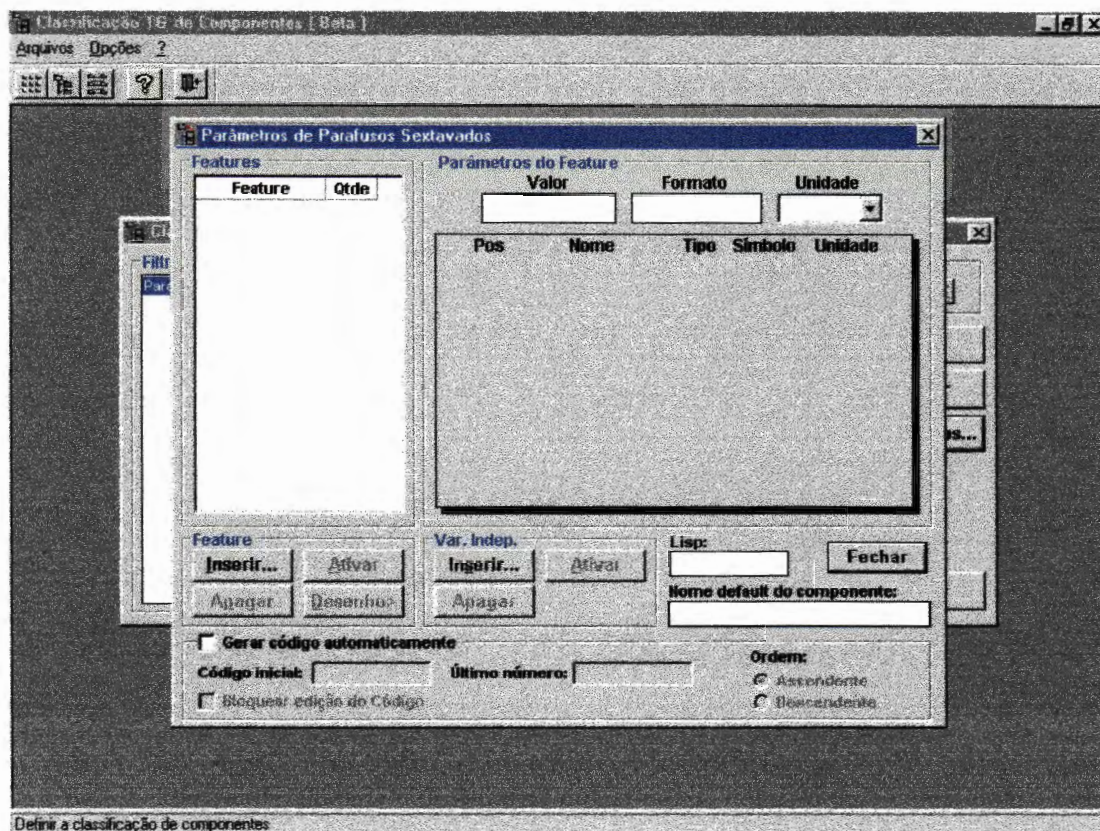


Figura 44: Ligando parâmetros a uma classificação

Para associar um novo feature a esta classificação, pressiona-se [Feature Inserir...], quando os features disponíveis, cadastrados no gerenciador de features, são mostrados. A figura 45 ilustra o que acontece após ter-se selecionado um destes features. Deve-se notar que não é necessário existir features para se ligar variáveis a classificação, através do botão [Var. Indep. Inserir...] pode-se associar variáveis do dicionário de variáveis diretamente a cada classificação. Note também o espaço para o programa Lisp (programa do AutoCAD) preenchido. Através deste dado, quando o sistema de classificação chamar o CAD, o desenho pode ser feito automaticamente, chamando-se o programa e passando-se os parâmetros do item

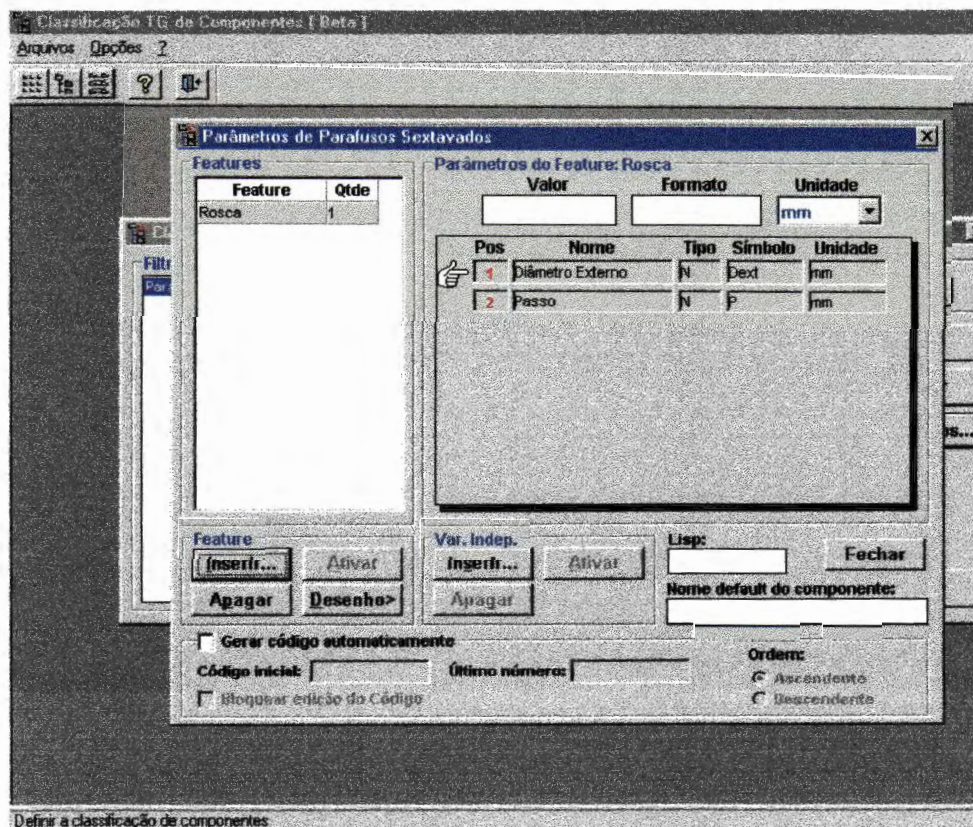


Figura 45: Um feature inserido em uma classificação

### 5.2.1.3. Sub-sistema de classificação de itens

Uma vez que as classificações estão definidas, pode-se ligar os itens a elas. Uma vez que o item é inserido na classificação, este herda automaticamente todas as características desta (todos os seus parâmetros). A figura 46 mostra a tela principal do sistema de classificação com a classificação criada acima selecionada.



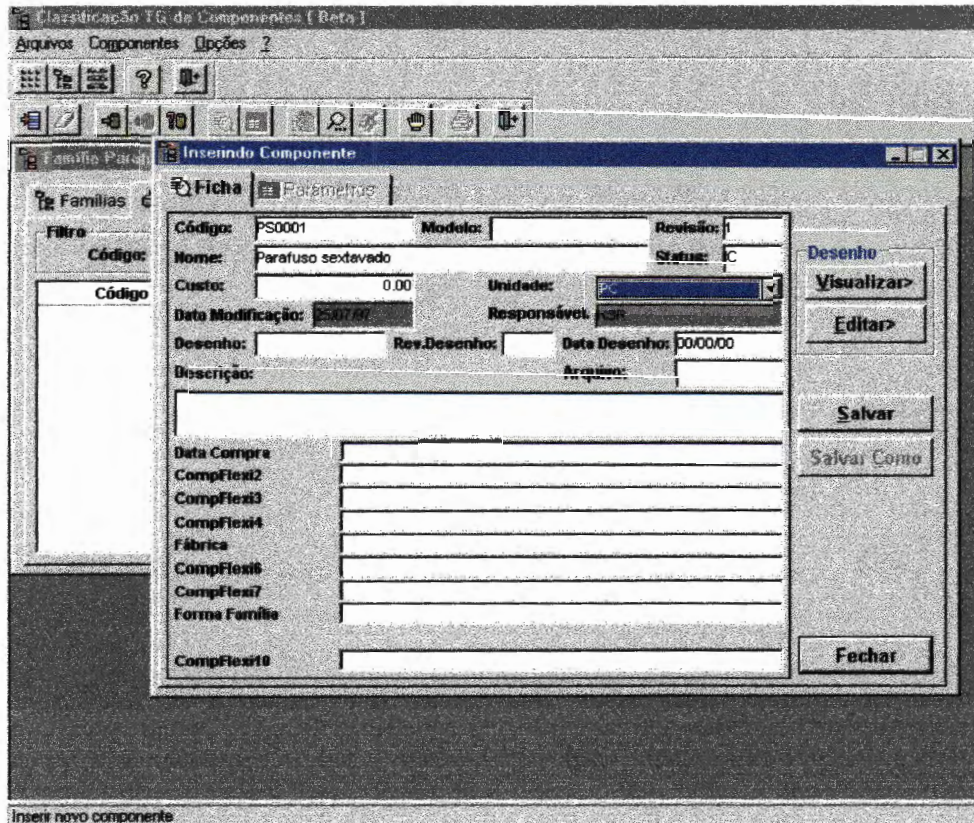


Figura 47: Inserindo um item em uma classificação

Ao se selecionar a pasta “Parâmetros” da janela do item, vê-se que o feature cadastrado está ligado a ela, e aguarda-se que os seus parâmetros sejam preenchidos (figura 48)

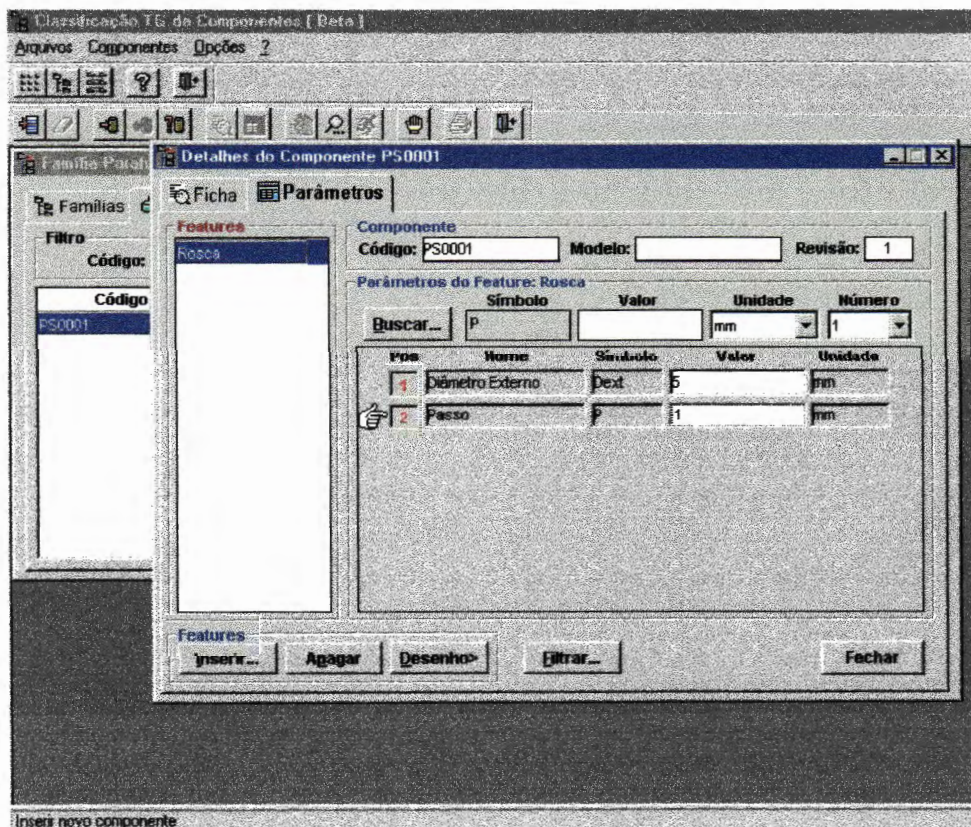


Figura 48: Preenchendo os parâmetros de um feature.

Para chamar o CAD, basta pressionar o botão para edição de desenhos, e os parâmetros são automaticamente enviados. Caso haja um programa habilitado para entender os parâmetros, o desenho do item é feito automaticamente.

### 5.2.2. Implementação do sistema de cálculo de fórmulas

O sistema de cálculo de fórmulas permite a criação de fórmulas que calculam qualquer parâmetro de qualquer recurso a partir de parâmetros de qualquer recurso. Seus elementos básicos são fórmulas, tabelas e estruturas, sob que serão apresentados a seguir. Houve pouco aproveitamento do sistema de cálculo de tempo anterior. A generalização exigiu uma reestruturação completa do software.

Da mesma maneira que o sistema de classificação, o paradigma MDI foi usado. A figura 49 mostra a tela inicial do sistema de cálculo de fórmulas, que dá acesso aos três elementos principais do sistema de cálculos: fórmulas, estruturas e tabelas

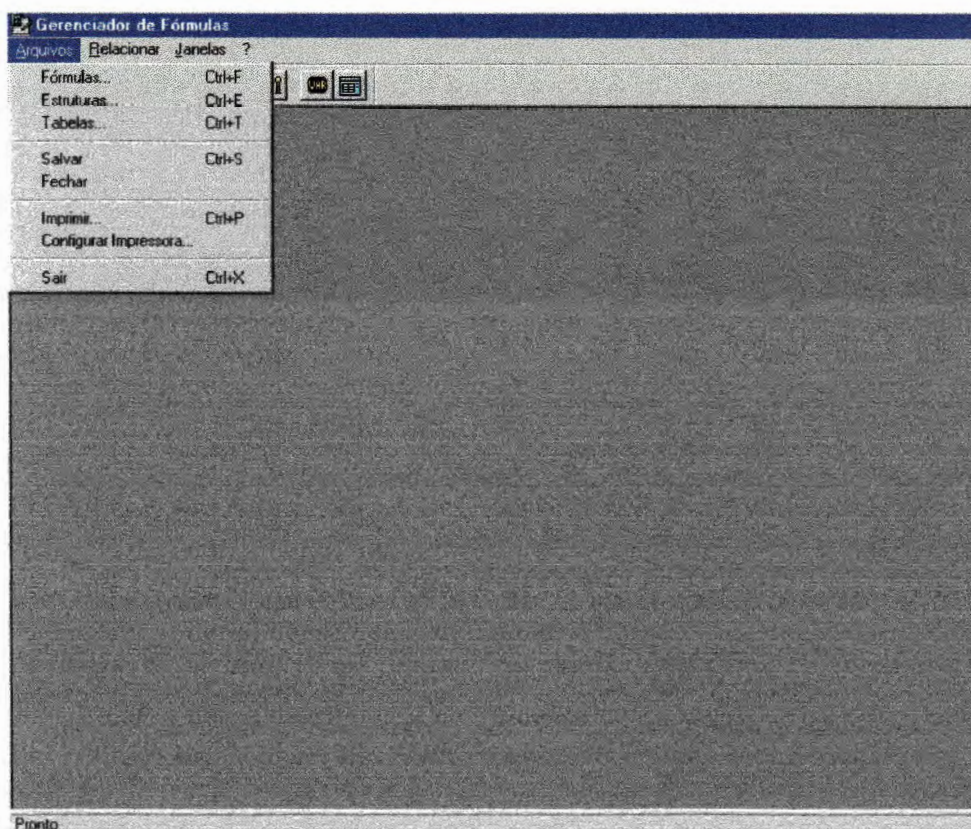


Figura 49: Tela principal do sistema de cálculo de fórmulas

#### 5.2.2.1. Sub-sistema de fórmulas

Uma fórmula é uma expressão matemática qualquer (dentro de certas limitações) que contém ou não variáveis. Variáveis são definidas como sendo textos entre aspas simples. Por exemplo “ ‘diâmetro’ \* 2 ” é uma fórmula que tem diâmetro como uma variável. Se esta fórmula for calculada, ela trará o resultado da multiplicação de diâmetro por 2.

A figura 50 mostra a tela principal de cadastro de fórmulas, os botões do menu imediatamente acima executam as funções de criação, alteração, eliminação e impressão das fórmulas.

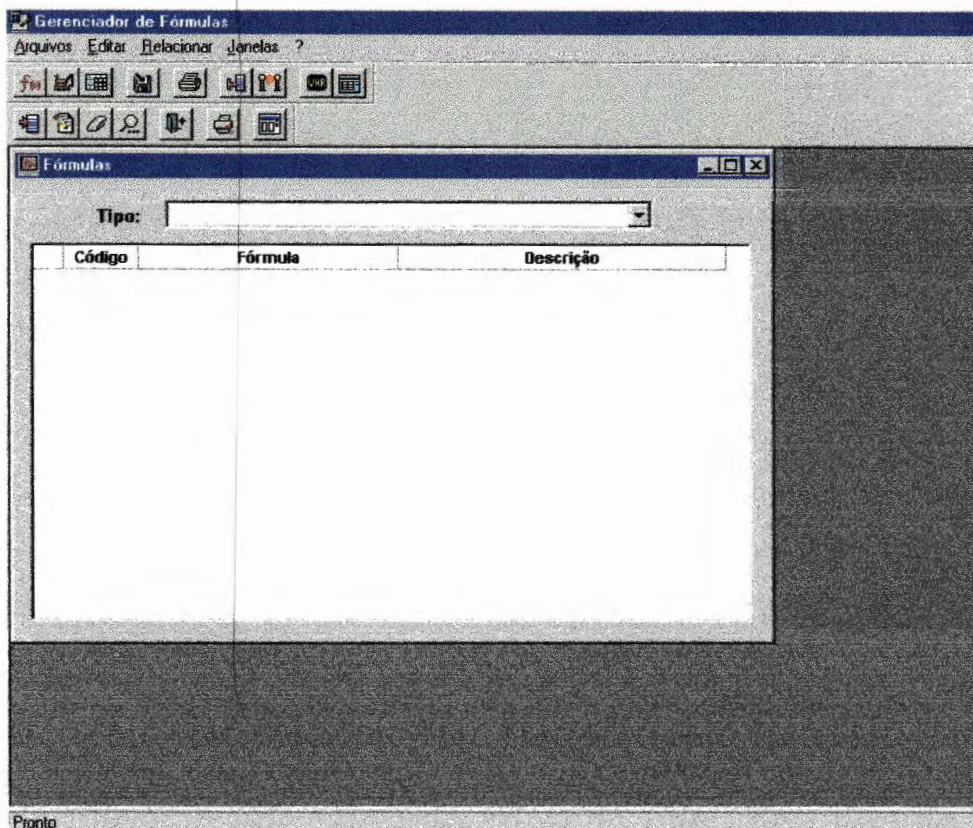


Figura 50: Tela principal do sistema de cadastro de fórmulas

A figura 51 mostra uma sessão de edição de uma fórmula cadastrada. Note que diâmetro é uma variável da fórmula. A lista de funções disponíveis para uso é mostrada ao lado dos operadores disponíveis. Caso queira se fazer uma referência a outra fórmula, pressiona-se o botão [Fórmulas...] para escolher a fórmula, caso queira-se escolher uma estrutura de cálculo, pressiona-se [Estruturas...] (mais adiante será discutido o funcionamento de estruturas).

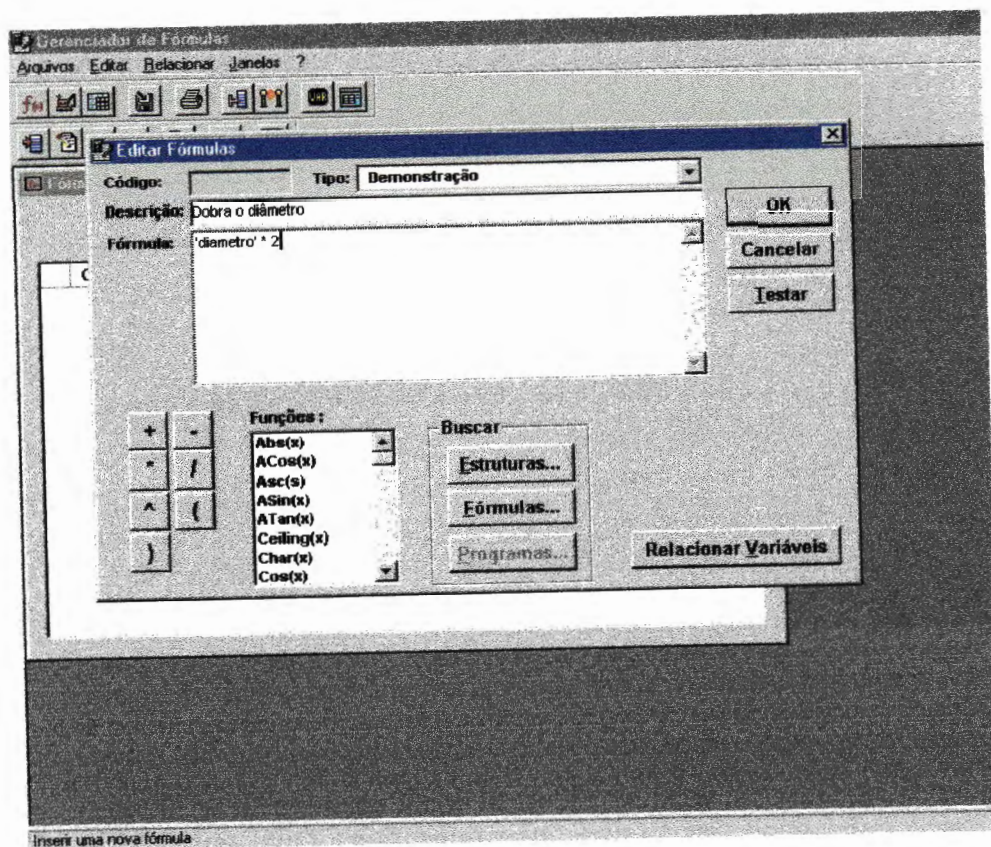


Figura 51: Editando uma fórmula

Ao pressionar o botão [Relacionar Variáveis...] o sistema permite relacionar as variáveis existentes na fórmula a variáveis do dicionário de variáveis. No exemplo da figura 52 mostra-se a variável diâmetro da fórmula relacionada a variável diâmetro externo do dicionário de variáveis.



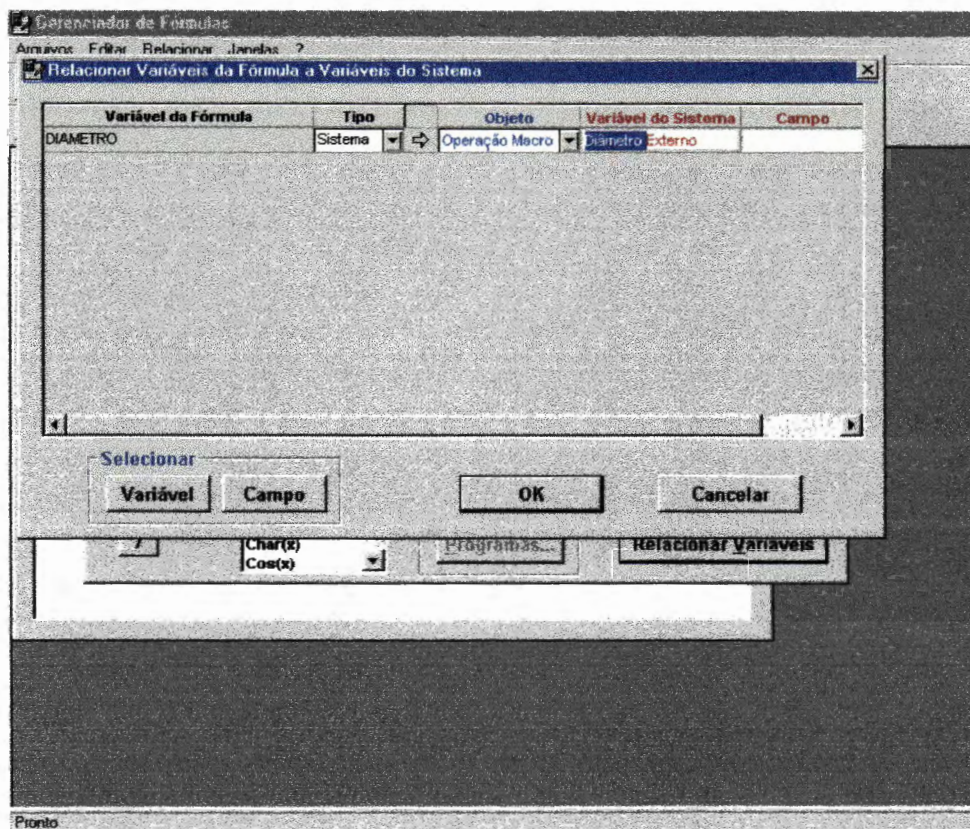


Figura 52: Relacionando as variáveis de uma fórmula a uma variável do dicionário

Após o relacionamento realizado acima a fórmula já pode ser resolvida pelo CAPPE. Basta agora indicar onde o resultado do cálculo deverá ser colocado. Para tanto, utilizaremos o comando do menu 'Relacionar Variável de Recurso...', que chama a tela mostrada na figura 53.

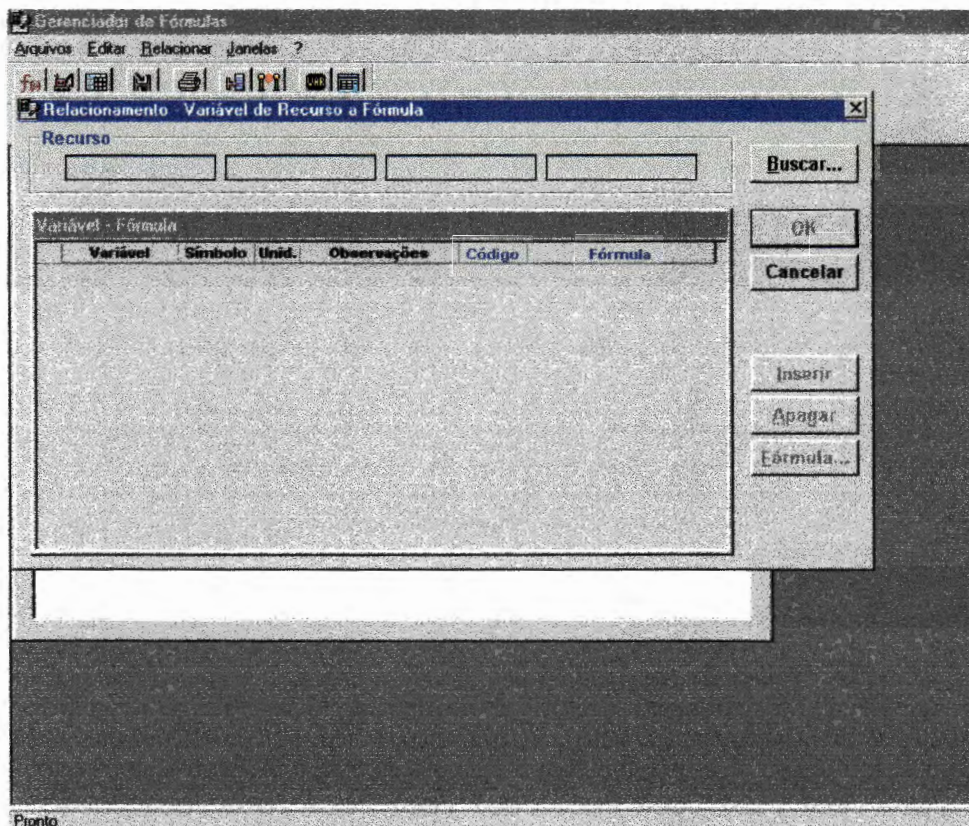


Figura 53: Relacionando o resultado de uma fórmula a uma variável de um recurso

Para selecionar qual recurso deseja-se calcular, pressiona-se o botão [Buscar...] para determiná-lo. Ao escolher o recurso desejado, pode-se escolher quais variáveis deste serão calculadas (obviamente, o recurso deverá ter suas variáveis já definidas no gerenciador de recursos de planejamento). A figura 54 mostra a variável diâmetro do punção sendo calculada pela fórmula feita anteriormente.

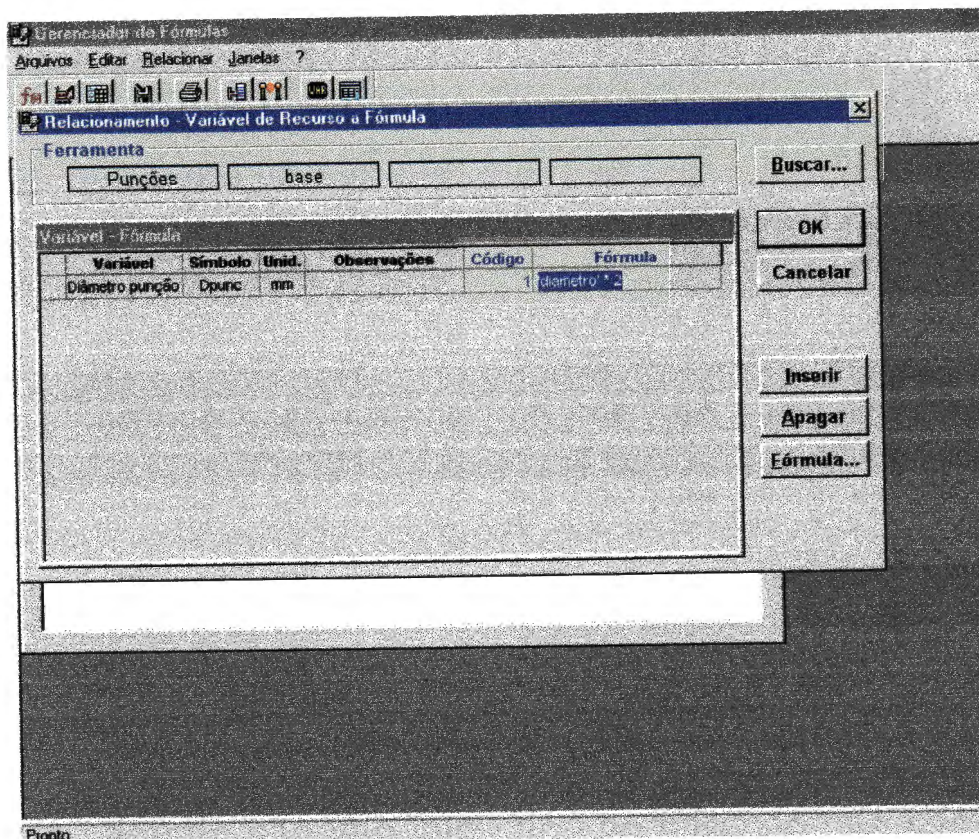


Figura 54: Variável de recurso relacionada a fórmula

#### 5.2.2.2. Sub-sistema de estruturas

Uma estrutura informa como tabelas estão inter-relacionadas para calcular um determinado valor. A figura 55 ilustra tabelas interligadas formando uma estrutura de cálculo.

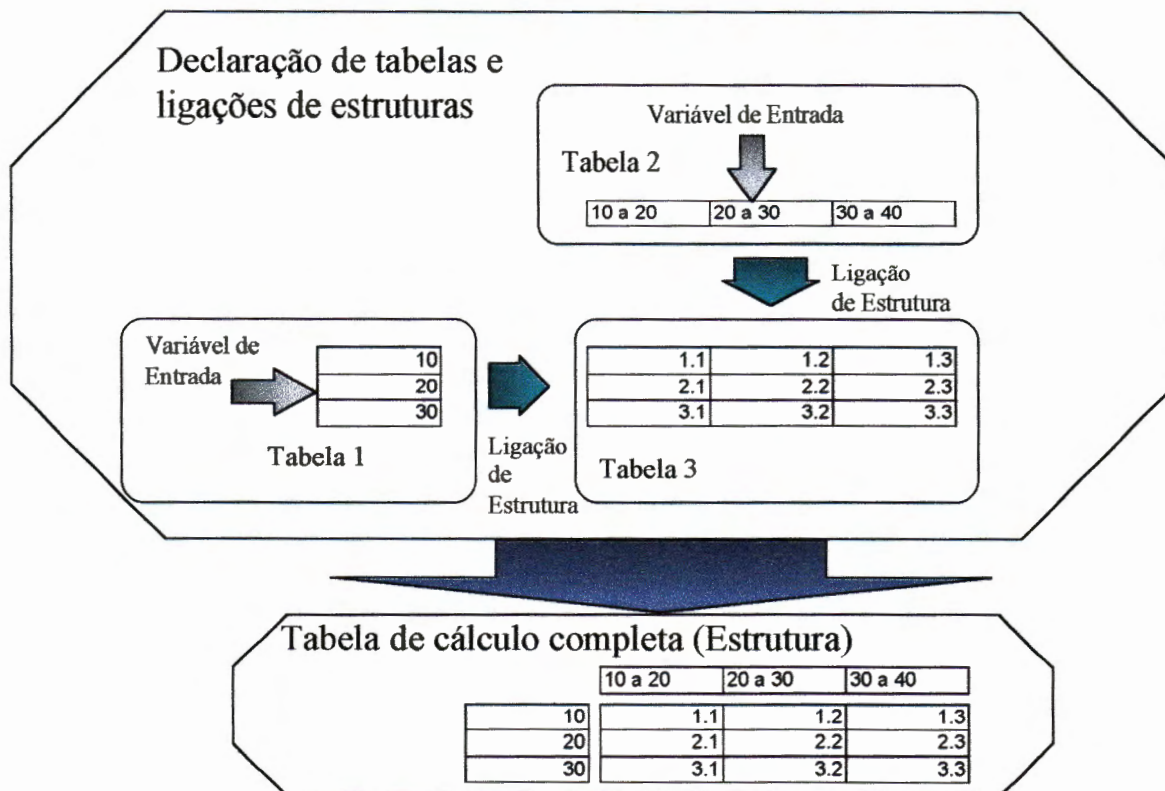


Figura 55: Ligação das tabelas e estruturas para formar uma tabela de cálculo completa

Conforme pode-se observar na figura 55, as tabelas (tabela 1, 2 e 3) são declaradas independentemente e então ligadas entre si para formar a tabela de cálculo completa. A tabela de cálculo completa resultante é chamada de estrutura de cálculo. As variáveis de entrada são ligadas diretamente a tabela entrada e podem ser quaisquer variáveis do dicionário ou outras fórmulas. As ligações de estruturas mostradas no exemplo da figura 55 formariam a seguinte representação relacional:

Caminho em linha:

<i>anterior</i>	<i>posterior</i>
0	tabela 1
tabela 1	tabela 3

Caminho em coluna:

<i>anterior</i>	<i>posterior</i>
0	tabela 2

tabela 2	tabela 3
----------	----------

A figura 56 mostra a tela principal para cadastro de estruturas, as funções de inserção, alteração e eliminação podem ser acessadas através do menu imediatamente acima.

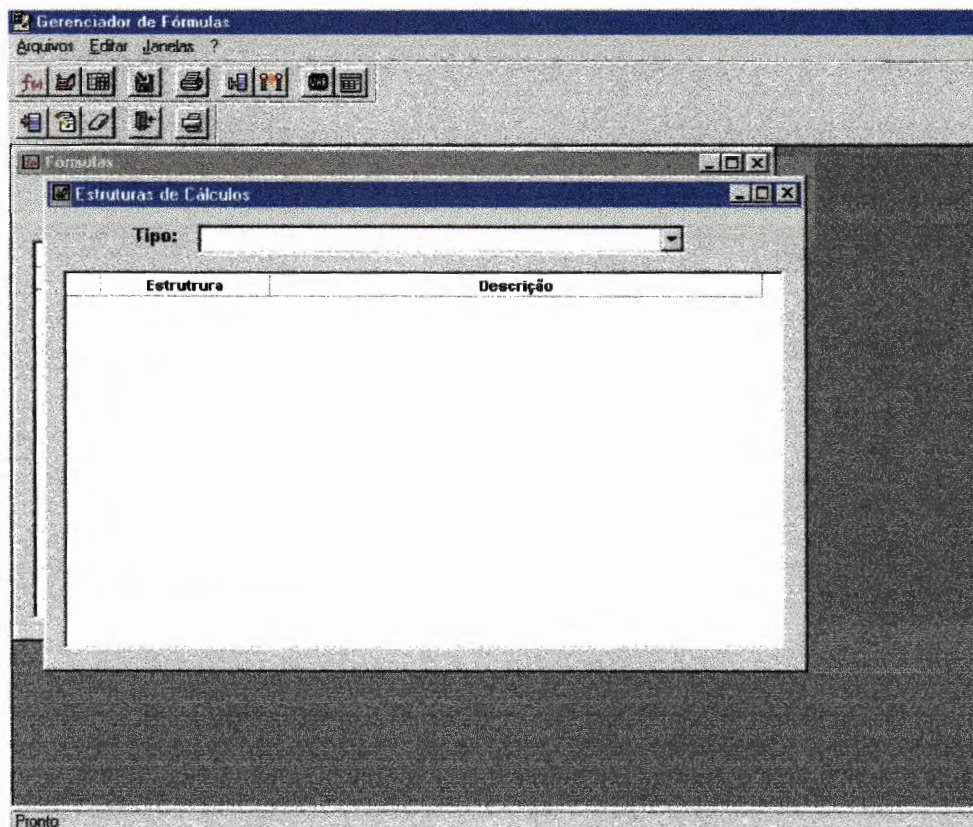


Figura 56: Tela principal de cadastro de estruturas

Após criada a estrutura, pode-se editar quais as ligações que ela estabelece entre as tabelas, portanto as tabelas já devem existir. A figura 57 mostra uma tela do cadastro de ligações de estrutura. Através dos botões [Inserir...] para os caminhos de linha ou coluna, pode-se associar as ligações das tabelas.

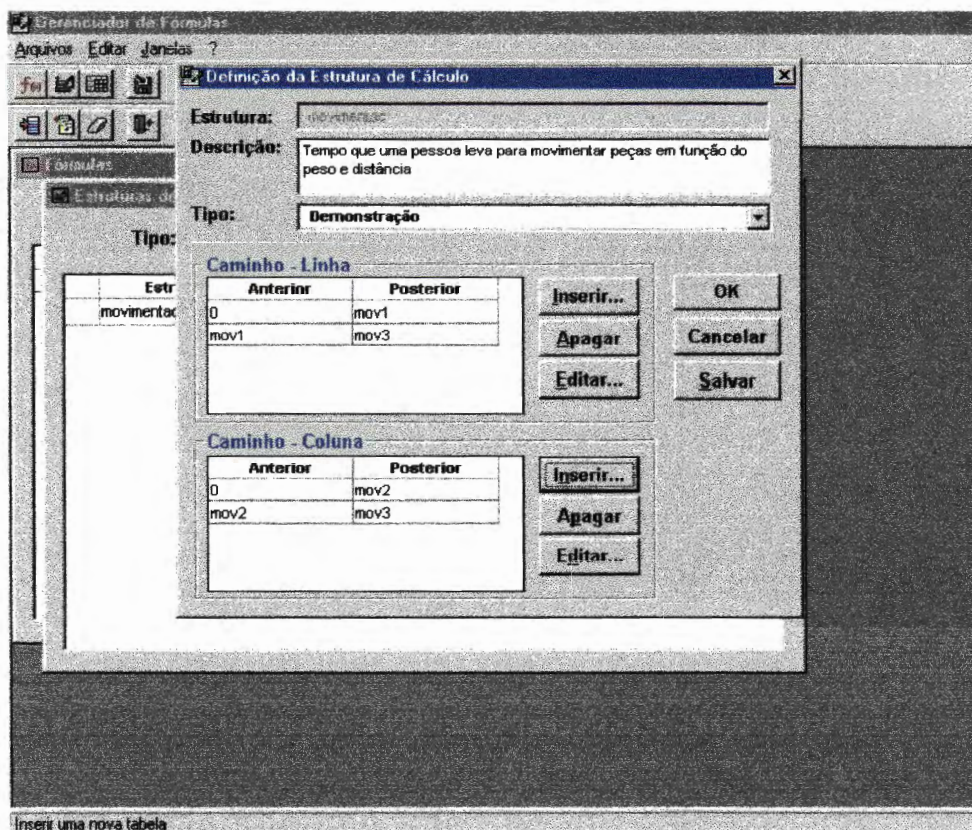


Figura 57: Editando ligações de uma estrutura de cálculo.

#### 5.2.2.2. Sub-sistema de tabelas

As tabelas permitem, juntamente com as estruturas, utilizar em fórmulas referências a dados tabelados. As tabelas são as estruturas básicas a partir das quais pode-se construir uma tabela de cálculo complexa, as estruturas mostram como as tabelas são ligadas para formar uma tabela de cálculo. Uma tabela pode ter um número qualquer de linhas e colunas, conforme seja necessário. A figura 58 mostra a tela principal do cadastro de tabelas, onde listam-se as tabelas existentes.

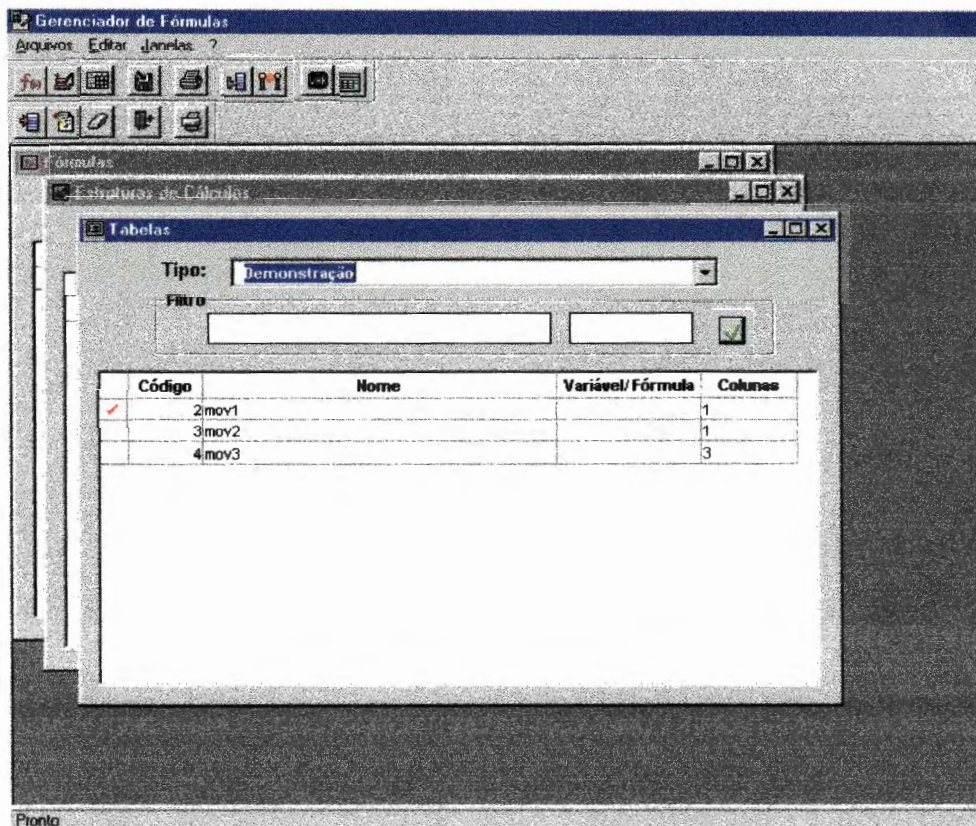


Figura 58: Tela principal para cadastro de tabelas

Através de um duplo-clique na tabela permite-se o cadastro dos valores de suas linhas e colunas. A figura 59 mostra uma tela em que se edita os valores de uma tabela hipotética.

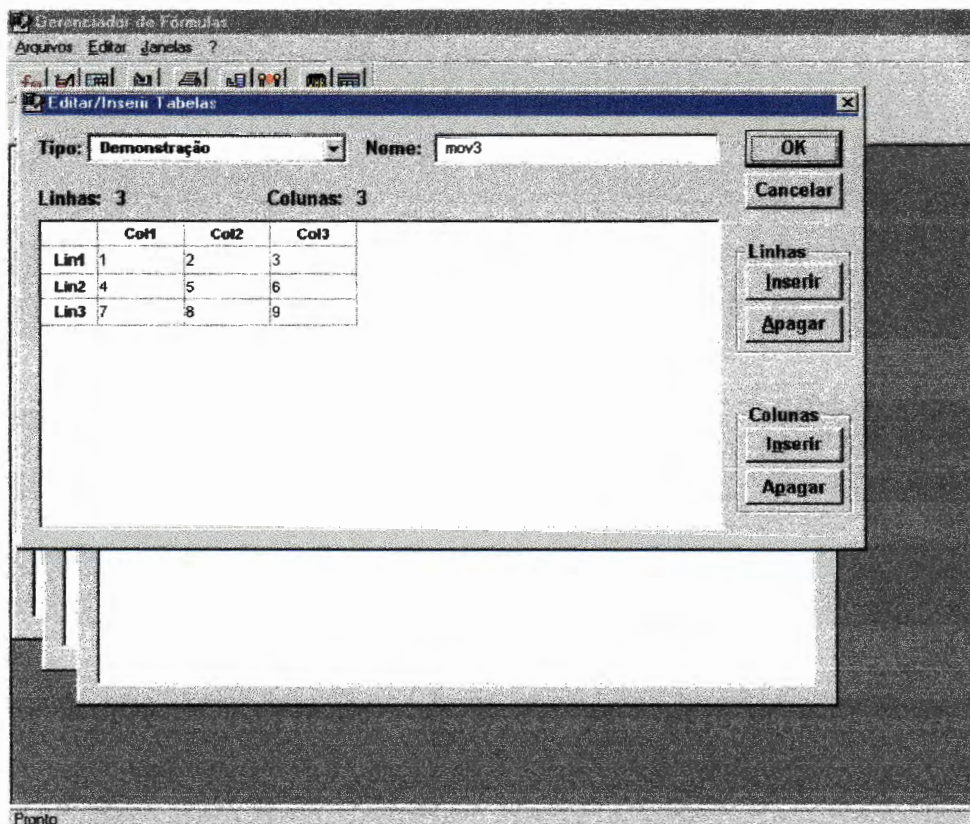


Figura 59: Editando os valores de uma tabela

As tabelas que estão na extremidade exterior de estruturas devem ser alimentadas com valores para que o cálculo seja efetuado, os valores podem vir de variáveis do dicionário do sistema ou de outras fórmulas. A figura 60 ilustra um exemplo de alimentação de uma tabela.



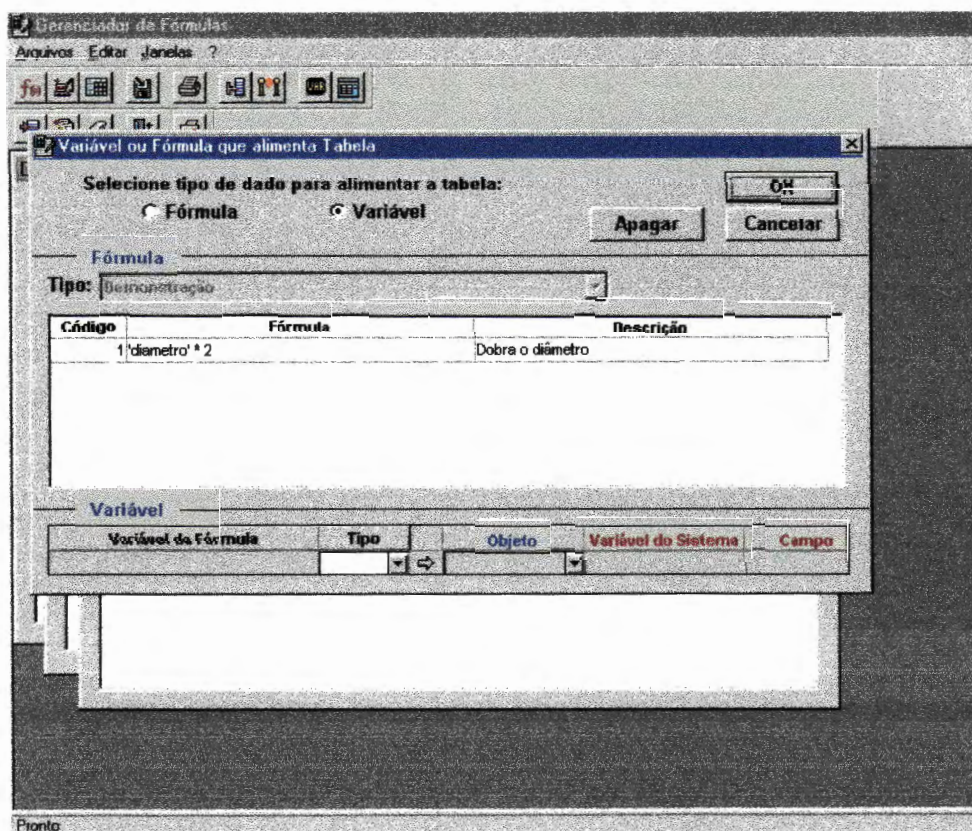


Figura 60: Alimentando uma tabela com um valor

### 5.2.3. Sistema de envio de dados ao CAD

O sistema de envio de dados ao CAD envolve somente a criação de objetos que estabeleçam a comunicação com o CAD e enviem através do canal de comunicação estabelecido as variáveis e comandos necessários. Os métodos para tanto já foram explicitados no capítulo 4. Na figura 61 exemplifica-se uma seção do Gerenciador de Recursos de Planejamento (GRP) integrado ao AutoCAD pela ação deste objeto. O desenho mostrado na tela foi realizado automaticamente pelo AutoCAD a partir de comandos enviados pelo GRP.

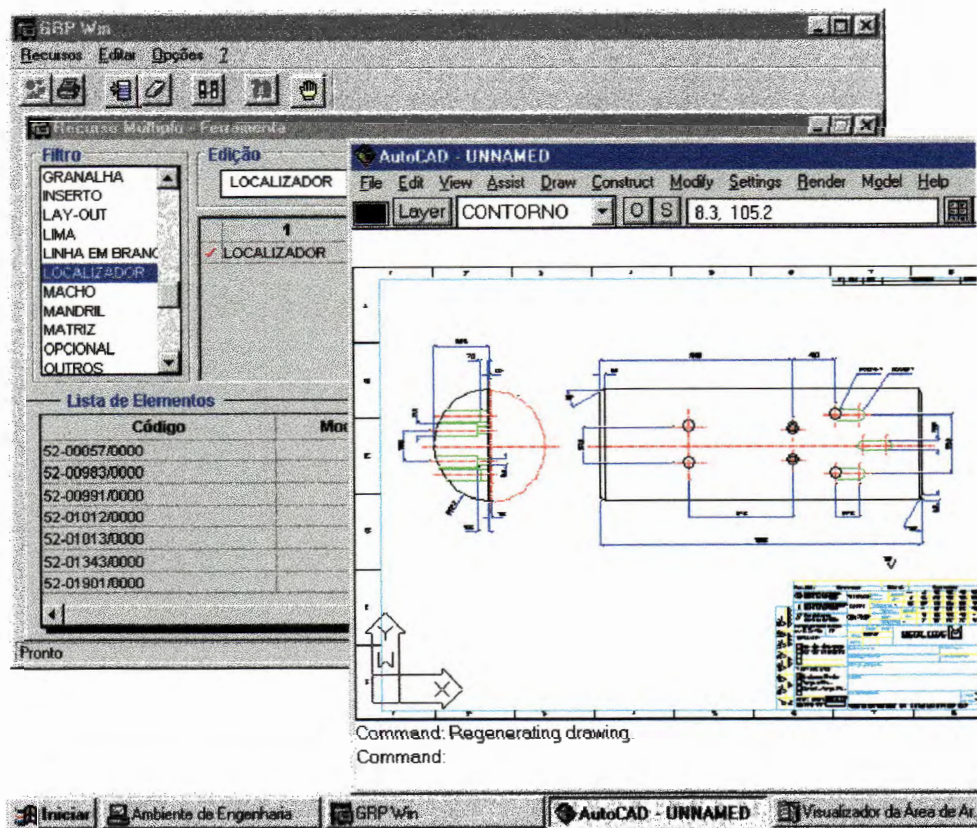


Figura 61: Desenho CAD executado automaticamente a partir do GRP

## **6. Aplicação Prática**

Neste capítulo apresenta-se uma aplicação prática do trabalho desenvolvido em uma indústria de grande porte da região do ABC paulista, a Metal Leve S.A.

### ***6.1. Descrição do caso***

A empresa Metal Leve S.A., uma das maiores fabricantes de bronzinas automotivas do Brasil, decidiu construir uma Célula de Alta Produtividade, chamada CAP. A célula CAP foi construída para a fabricação de bronzinas, atendendo aos mais rigorosos requisitos de qualidade e produtividade.

O objetivo traçado para o sistema CAPP foi o de manter um eficiente controle das informações de fabricação da célula CAP e permitir alta velocidade e precisão na geração destas informações. Para isto, a Metal Leve concluiu que, para atender a estes requisitos, faz-se necessário uma íntima integração com o desenvolvimento do produto. Neste sentido, surgiu o primeiro requisito: classificar e parametrizar a bronzina.

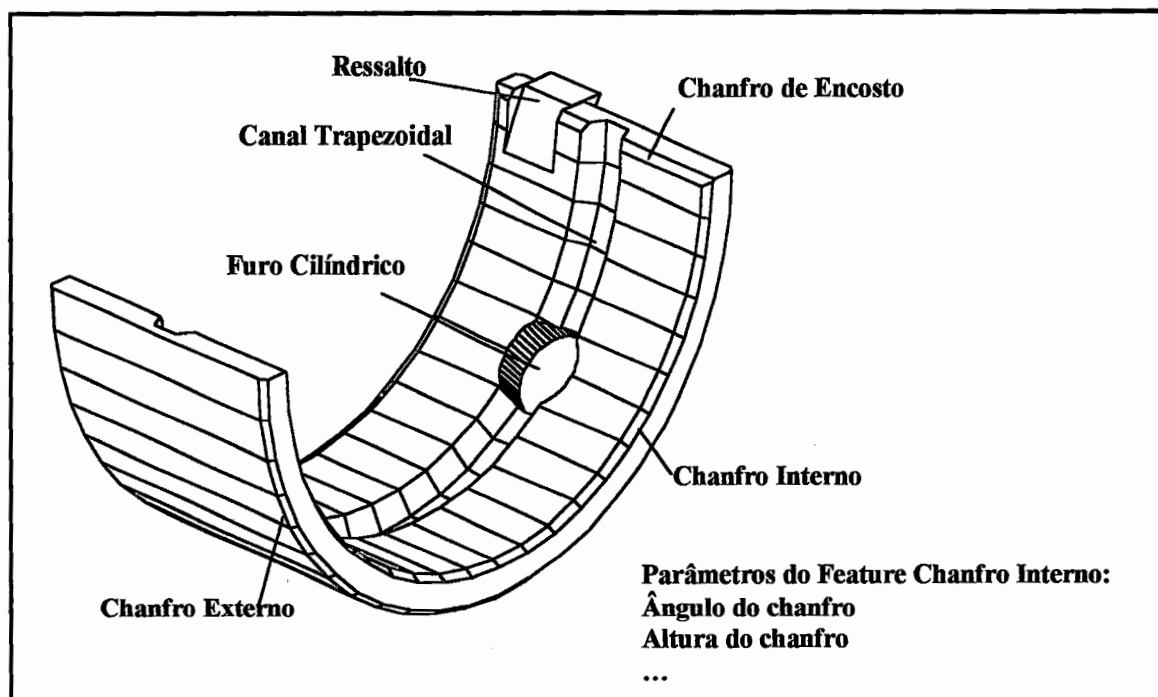


Figura 62: Exemplo de uma bronzina típica

A bronzina é um produto que pode ser enquadrado como um produto parametrizável. Cada bronzina contém cerca de 10 *features*, contendo cada *feature* em torno de 5 parâmetros. Ou seja, com 50 parâmetros é possível descrever os aspectos técnicos e geométricos da bronzina. Na **figura 62** estão sendo mostrados exemplos de alguns *features*.

Outro requisito a ser atendido se refere à geração automática dos desenhos de produção das bronzinas. Uma vez que os dados de produtos foram parametrizados, o desenho de produção da bronzina deveria ser gerado de maneira automática a partir dos dados armazenados para cada bronzina. Além disto, o sistema deve garantir os controles de versões e revisão, necessários para a rastreabilidade do produto.

Uma das funções críticas no planejamento do processo é o desenvolvimento de ferramentas e dispositivos de usinagem e fixação. No caso das bronzinas são necessários o cálculo de cerca de 70 tipos de ferramentas diferentes. Portanto, o sistema CAPP deve ler os dados da bronzinas, que já estão disponíveis em forma de *features*, e calcular todas as ferramentas necessárias para fabricar uma bronzina específica.

Para evitar desperdícios com compras de ferramentas e dispositivos já existentes na célula CAP, o sistema CAPP deve permitir pesquisar por diversos parâmetros todas as ferramentas já compradas ou construídas.

Cabe ao processista definir e estudar a melhor ferramenta para executar uma operação de fabricação. Esta atividade deveria se restringir à pesquisa da melhor ferramenta, uma vez que todas as ferramentas e dispositivos da célula CAP são dedicados a máquina e a operação. O sistema CAPP deve então desenhar automaticamente as ferramentas específicas para uma bronzina, logo após o cálculo de suas especificações técnicas.

Sob o ponto de vista do plano de processo de fabricação, os requisitos ficaram ainda mais exigentes. Como a célula CAP possui uma alta produtividade, o plano de processo deveria estar focado em duas especificações:

- manter todas as informações de preparação de ferramental e máquinas e equipamentos de maneira clara, pois a célula CAP tem que ser eficiente nas preparações de máquinas. A célula CAP trabalha com previsões de quatro trocas de produtos por dia. Ou seja, terão em torno de quatro preparações de máquinas por dia.
- manter particularidades de fabricação e qualidade buscando atender aos requisitos de cada cliente. Os critérios de qualidade (especificação de inspeção) e fabricação se alteram a cada troca de produto na célula.

O volume de informações que antecedem uma ordem de fabricação de uma bronzina é bastante elevado. A célula CAP tem sua produtividade afetada caso as informações dos planos de processos não cheguem ao piso da fábrica rapidamente e sempre confiáveis.

A Metal Leve pesquisou, sem sucesso, alternativas convencionais, inclusive as utilizadas em suas outras plantas fabris.

## **6.2. Solução Proposta**

O uso de um CAPP para peças parametrizadas tem grande aplicação no ambiente fabril da Metal-Leve. O CAPPE modificado da maneira proposta foi integralmente aplicado. Havia dois problemas de maior gravidade:

- Como automatizar o cálculo do ferramental
- Como automatizar a geração de documentação

Abaixo trataremos da solução destes problemas

### **6.2.1. Automação do cálculo de ferramental**

Para resolver o primeiro problema, foi necessário um estudo de todo o ferramental necessário para a fabricação da bronzina e seu relacionamento com o produto. Foram levantados aproximadamente 300 tipos de ferramentas diferentes necessárias à confecção de uma bronzina, sendo que aproximadamente 100 destes tipos tem relações diretas com as dimensões das bronzinas.

Todas estas ferramentas foram organizadas sob as classificações do GRP e tiveram seus parâmetros definidos. Cada um dos parâmetros das ferramentas que tinha relacionamento com dimensões do produto teve uma fórmula levantada (parte deste trabalho já tinha sido realizada e os cálculos eram feitos através de planilhas Excel) e tal fórmula foi ligada a este parâmetro para cálculo.

Além disso, cada um dos 100 tipos diferentes teve um programa Lisp elaborado especialmente para geração do desenho da ferramenta a partir dos parâmetros calculados.

Através deste esforço já era possível calcular e desenhar as ferramentas a partir de um dado produto, entretanto cada ferramenta devia ter seus parâmetros calculados individualmente no GRP. Faltava uma ligação com planejamento de processo. Foi então definido uma metodologia que permitiu o cálculo automático do ferramental. A metodologia se baseia no fato de que os planos de processo de duas bronzinas semelhantes geometricamente é muito semelhante, e muitas vezes exatamente igual no que tange ao sequenciamento de operações macro. Elaboraram-se então planos de processo padrão para as bronzinas que contém todas as operações possíveis da célula CAP e todo o ferramental utilizado em cada operação. Quando uma nova bronzina é

criada, o plano padrão é copiado para a nova bronzina, as operações que não existem são eliminadas e então todos os parâmetros de cada ferramenta ligada ao plano são recalculados. Há três possibilidades para cada ferramenta que tem seus parâmetros recalculados:

- a) Caso os parâmetros recalculados sejam os mesmos da ferramenta utilizada, a ferramenta é mantida.
- b) Caso os parâmetros sejam diferentes, a classificação da ferramenta correntemente utilizada é procurada em busca de alguma ferramenta que tenha os parâmetros idênticos ou dentro de folgas especificadas, caso a ferramenta exista na classificação, a ferramenta utilizada no plano é trocada pela ferramenta que contém os parâmetros válidos.
- c) Caso os parâmetros sejam diferentes e não haja ferramentas na classificação da ferramenta correntemente utilizada, uma nova ferramenta com os parâmetros calculados é cadastrada no GRP.

Durante o recálculo, um arquivo que descreve (*log*) o que o sistema fez (manteve a ferramenta, trocou por outra existente ou criou uma nova) para cada operação é gerado. De posse deste arquivo o processista pode intervir e voltar atrás em qualquer decisão.

Uma vez que sejam aprovadas as ferramentas criadas, o processista deve entrar no GRP e requisitar que a ferramenta seja desenhada. O processista trata então de encaminhar e acompanhar a construção da ferramenta.

Os demais detalhes de aprovação e conclusão final do plano de processo serão tratados abaixo.

### 6.2.2. Automação da geração de documentação

A preparação da célula CAP e de todos os recursos para que ela produza com qualidade uniforme e tempo de preparação reduzido é uma tarefa complexa. Um dos pontos chave para isto é a documentação clara e precisa.

O plano de processo definido para a Metal Leve tem 7 detalhamentos possíveis por operação:

- a) Instruções de Pre-set: documento gráfico gerado no AutoCAD, enviado ao chão-de-fábrica, instrui o preparador de ferramental como preparar todo o ferramental para a célula. Agrega um desenho do ferramental usado e a lista de ferramentas declarada no editor macro. Veja anexo 1.
- b) Instruções de Set-up: documento gráfico gerado no AutoCAD, enviado ao chão-de-fábrica, instrui o preparador de máquina como uma determinada máquina deve ser preparada. Agrega um desenho de setup e informações do plano de setup gerado no CAPPE. Veja anexo 1.
- c) Instruções de Usinagem e Inspeção: documento gráfico gerado no AutoCAD, enviado ao chão-de-fábrica, instrui o operador da máquina como usinar e inspecionar o produto no estágio de fabricação onde ele se encontra. Agrega desenhos e informações do plano de sub-operação, plano de qualidade e programa CNC do CAPPE. Veja anexo 1.
- d) Plano de qualidade: documento texto baseado em padrões, não enviado ao chão-de-fábrica, contém as informações de qualidade.
- e) Plano de set-up: documento texto baseado em padrões, não enviado ao chão-de-fábrica, contém as informações de preparação da máquina.
- f) Plano de sub-operação: documento texto baseado em padrões, não enviado ao chão-de-fábrica, contém as informações de sub-operação necessárias para a manufatura do produto.
- g) Programa CNC: documento texto, não enviado ao chão-de-fábrica, contém o programa CN utilizado em algumas operações.

Uma vez determinado o nível de detalhamento necessário do plano de processo, passou-se a determinar quais as operações padrão existentes na célula. Foram encontradas aproximadamente 100 operações padrão.

Um plano para uma bronzina típica contém em média 40 operações macro, dessas aproximadamente 30 contém detalhamentos. Os detalhamentos gráficos, conforme pode ser observado no anexo 1, contém ilustrações detalhadas de cada etapa do processo. A cada uma das operações padrão candidatas a detalhamentos (70 entre as



100) foram ligados programas Lisp que lêem parâmetros do processo e do produto e executam os desenhos necessários.

Os parâmetros de cada operação que mudam conforme o produto através de uma fórmula são automaticamente calculados, enquanto que outros parâmetros são alterados manualmente. Quando finalizados, o processo passa por um estágio de aprovação e é finalmente impresso para o chão-de-fábrica.

### ***6.3. Exemplo de aplicação***

Abaixo serão exemplificados os principais aspectos relatados acima, na forma de uma sessão interativa onde se mostra desde o cadastro de uma bronzina passando pelo cálculo de uma ferramenta e seu desenho até o cálculo completo de todo um plano e suas ferramentas. Então mostra-se o desenho automático de algumas operações para obtenção do plano de processo completo.

#### **6.3.1. Cadastro de uma bronzina**

Conforme mostrado no capítulo 5, o primeiro passo para o cadastro de produtos é a definição dos features existentes. A figura 63 apresenta a lista dos features disponíveis para uso em bronzinas, enquanto que a figura 64 apresenta os parâmetros de um destes features.

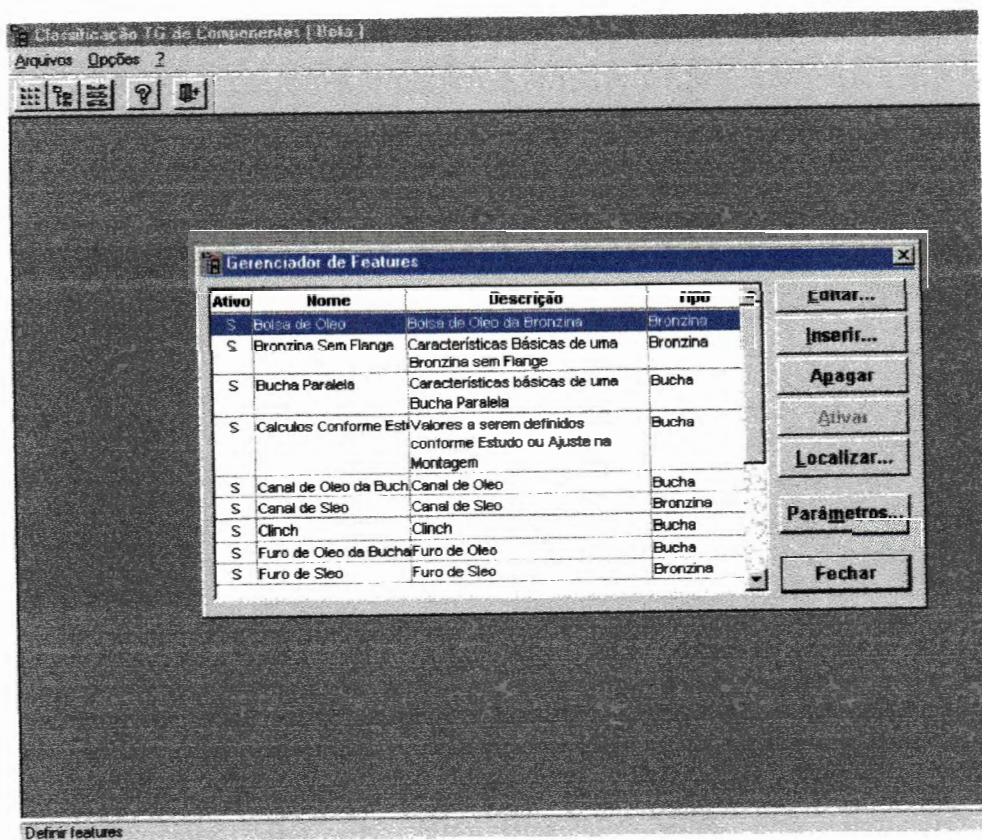


Figura 63: Lista dos features disponíveis

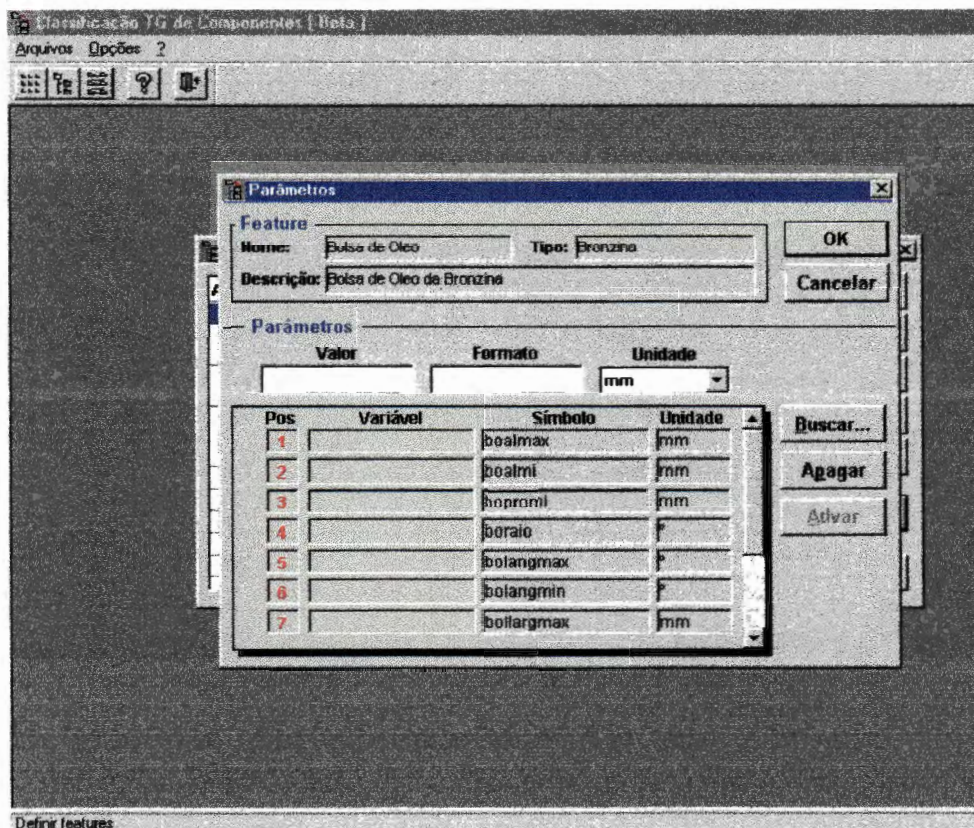


Figura 64: Parâmetros de um feature

Uma vez definidos os possíveis features, pode-se definir as classificações e ligar-se a elas os features. A figura 65 mostra a classificação 'Bronzinas sem flange' e seus respectivos features. Os parâmetros definidos para o primeiro feature também podem ser observados nesta figura.

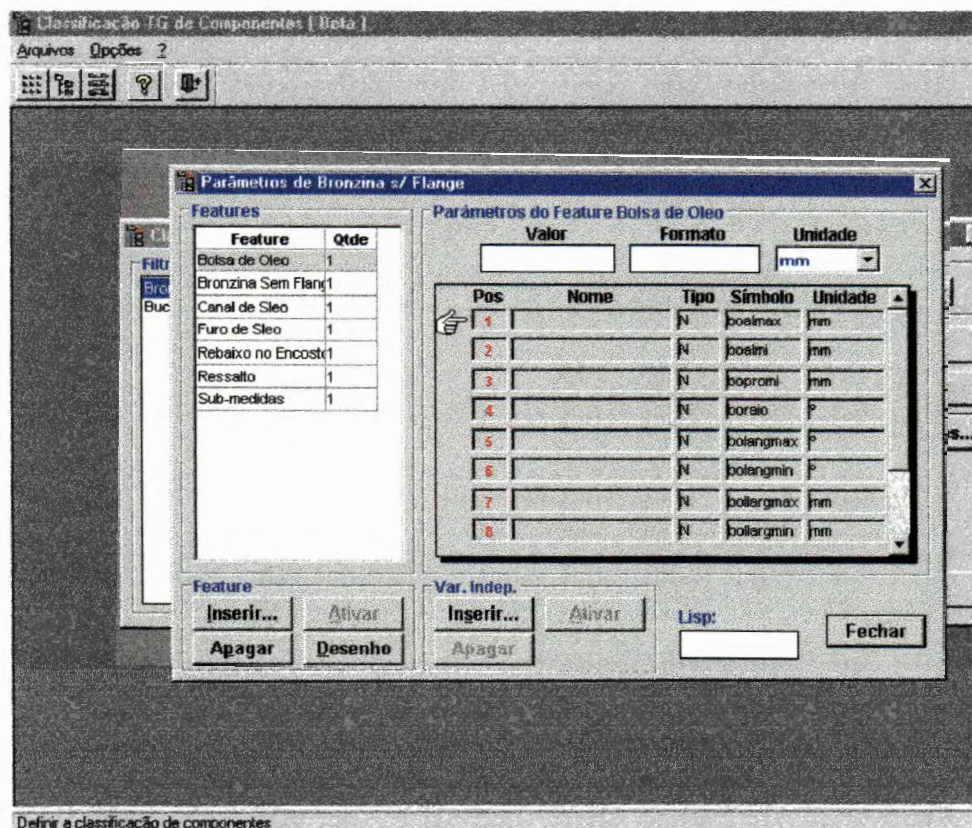


Figura 65: Definição de uma classificação

Com a classificação definida, pode-se associar os produtos a ela. A figura 66 mostra a lista de produtos cadastrados e os parâmetros de um produto específico mostrados. Os dados reais foram alterados conforme requisito da Metal Leve.

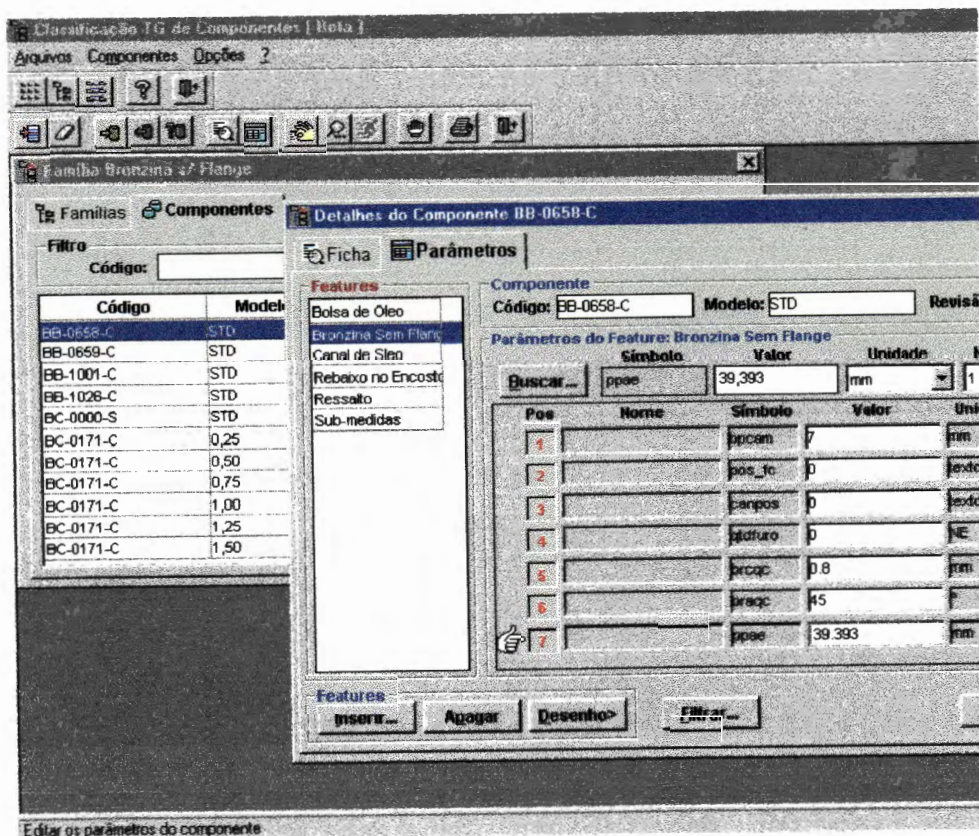


Figura 66: Produtos classificados e detalhe dos parâmetros de um produto

### 6.3.2. Cálculo de ferramentas

A figura 67 mostra a tela do GRP com uma mostra das classificações de ferramentas existentes.

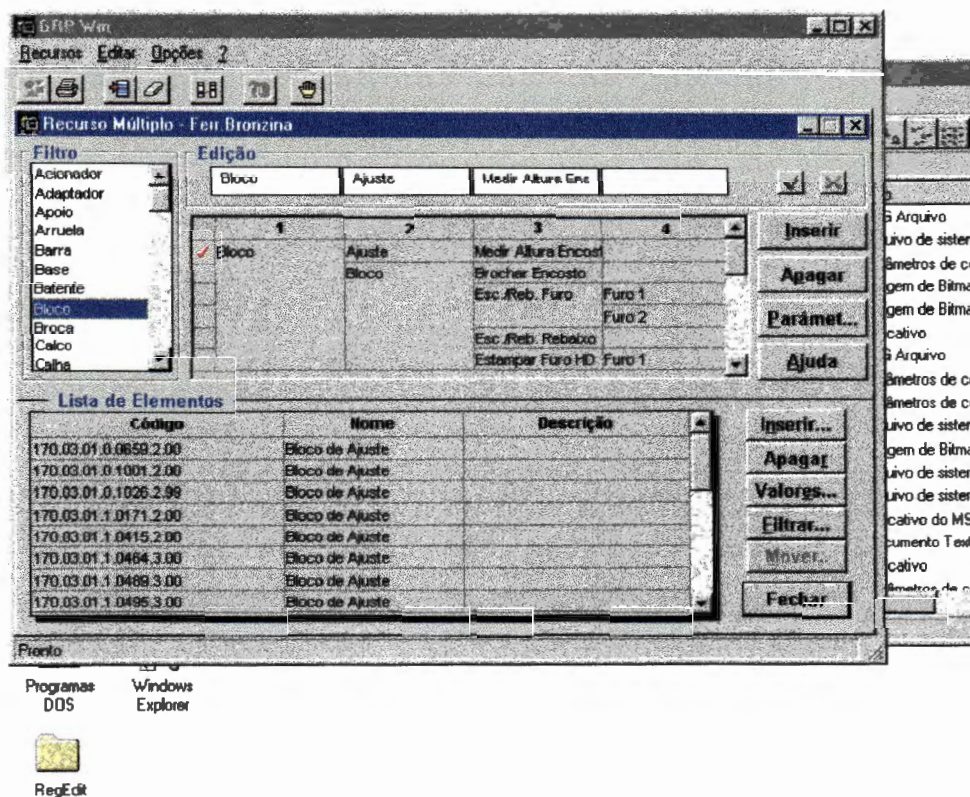


Figura 67: Tela do GRP apresentando uma parte das classificações existentes

A figura 68 mostra os parâmetros de uma ferramenta. Seus parâmetros estão todos na forma 'ferr\_A', 'ferr\_B', ..., devido a dificuldade de se nomear cada dimensão paramétrica da ferramenta. Ao se pressionar o botão [Calcular...], todos os parâmetros são calculados conforme as fórmulas ligadas a eles.

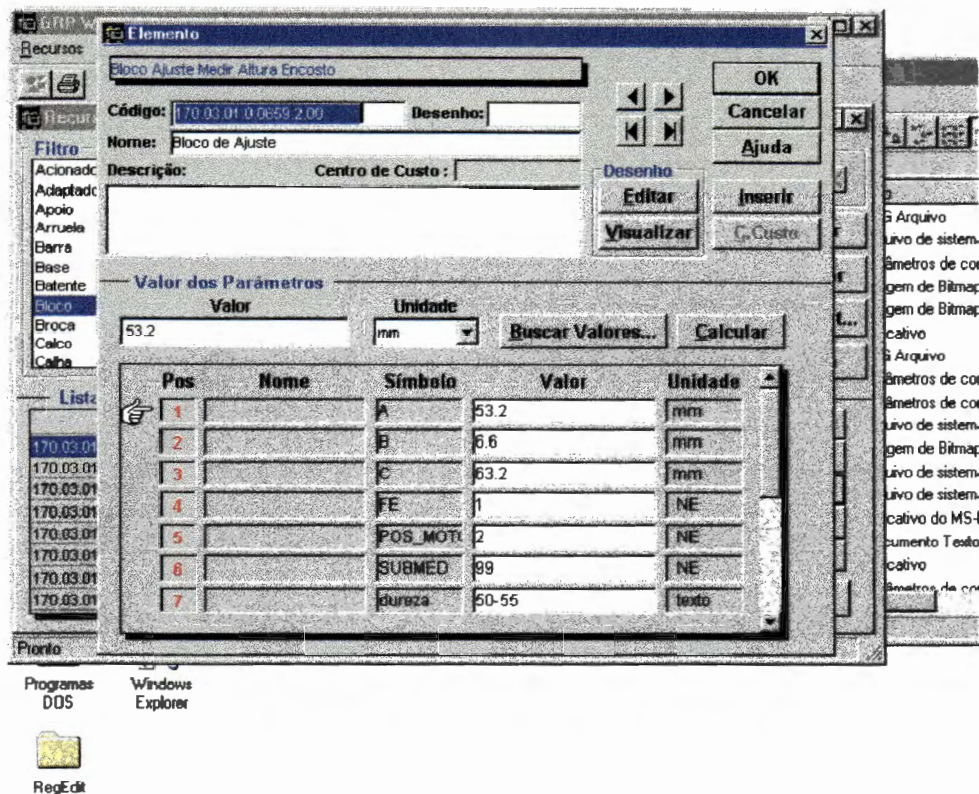


Figura 68: Parâmetros de uma ferramenta.

Na figura 69, o botão [Calcular...] foi pressionado e o sistema de cálculo encontrou uma dependência de um objeto ainda não fornecido na fórmula, o produto. Escolhendo-se o produto, o cálculo prossegue.

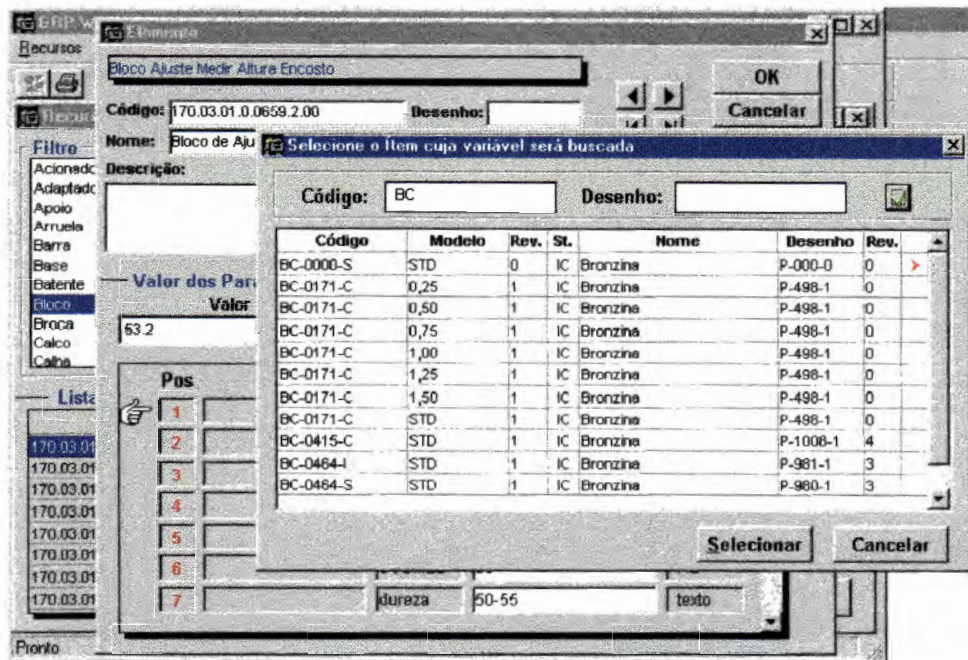


Figura 69: Calculando os parâmetros de uma ferramenta.

Uma vez que os parâmetros tenham sido calculados, pode-se desenhar a ferramenta automaticamente. A figura 70 apresenta os dados da classificação da ferramenta com seu respectivo programa Lisp associado. A figura 71 mostra o desenho executado no AutoCAD automaticamente após pressionar-se o botão [Desenho->].



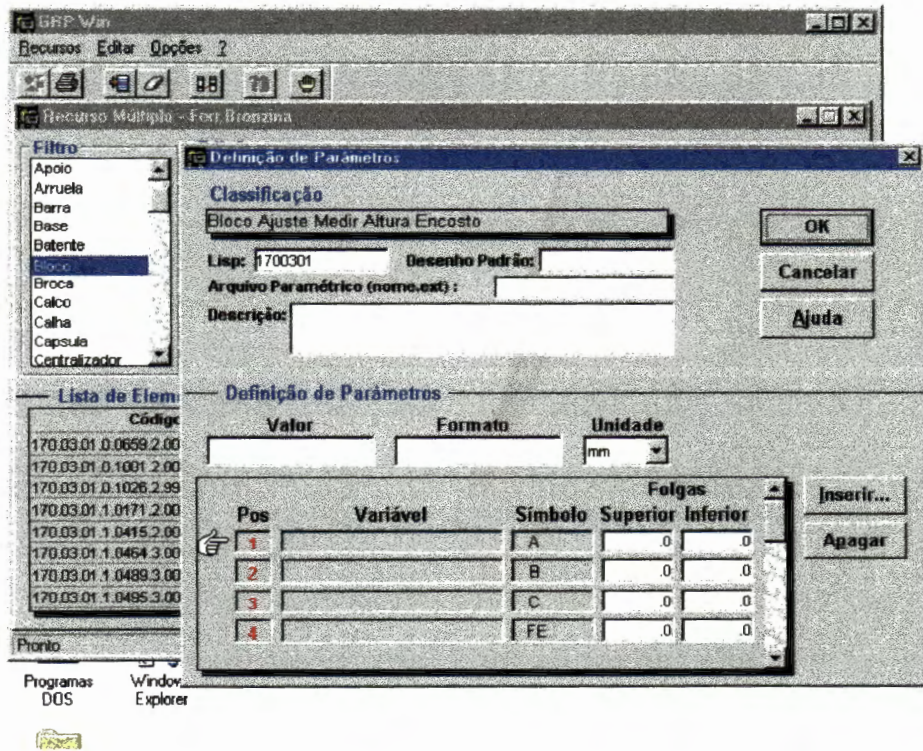


Figura 70: Dados da classificação de uma ferramenta

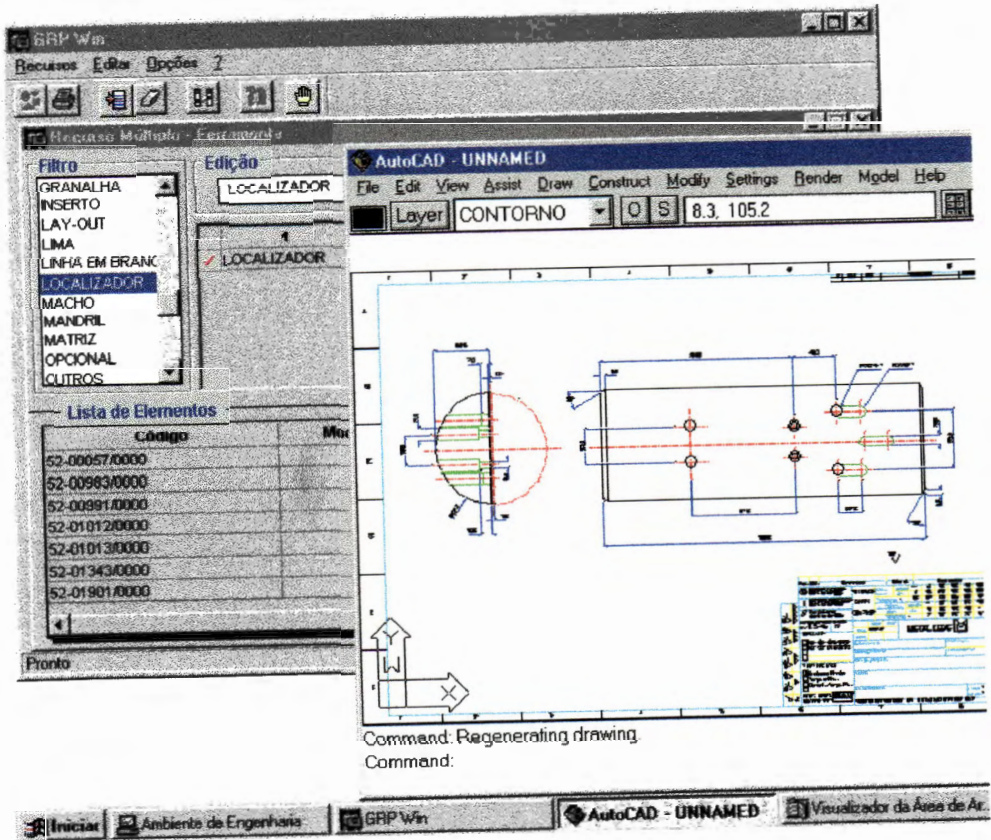


Figura 71: Desenho de uma ferramenta executado automaticamente no CAD

Para calcular os parâmetros desta ferramenta, foi necessário a definição de fórmulas que calculassem os parâmetros. A figura 72 apresenta uma lista das fórmulas do Gerenciador de Fórmulas.

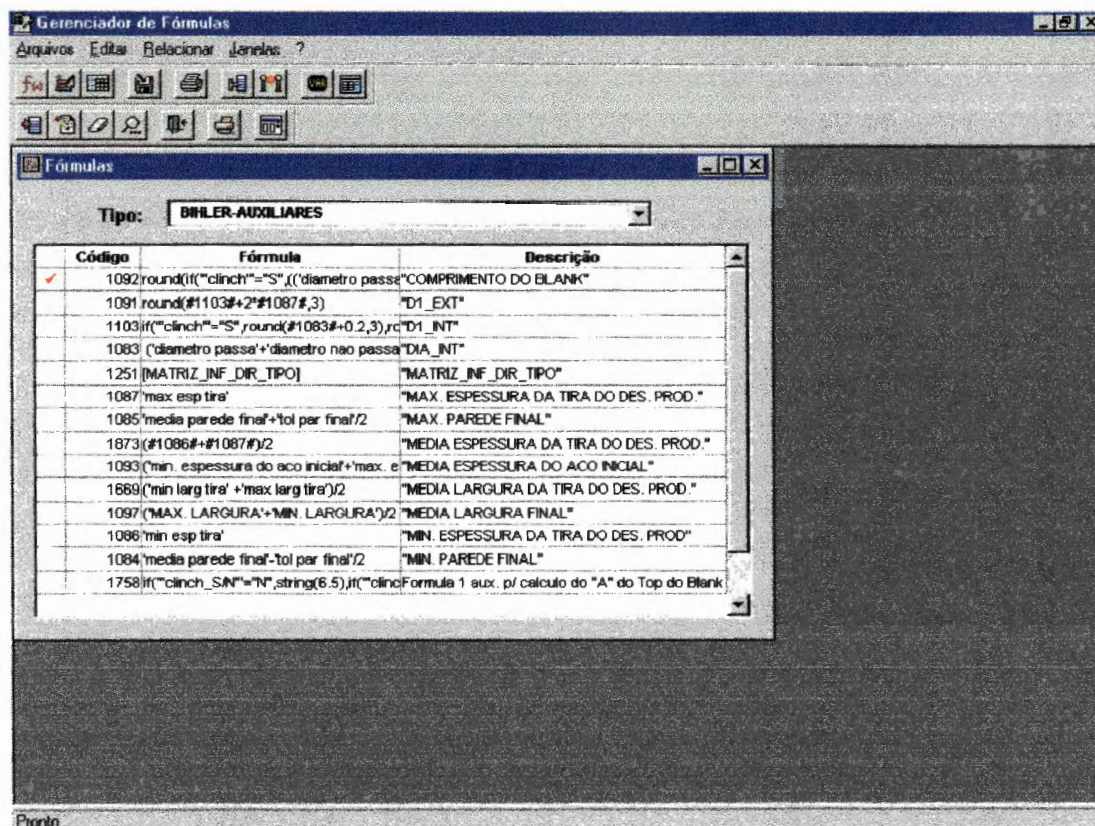


Figura 72: Lista das fórmulas criadas para cálculo de parâmetros

A figura 73 mostra uma das fórmulas da lista de fórmulas. Pressionando-se o botão [Relacionar Variáveis...], a figura 74 mostra como os parâmetros da fórmula estão ligadas a parâmetros do produto através do dicionário de variáveis.

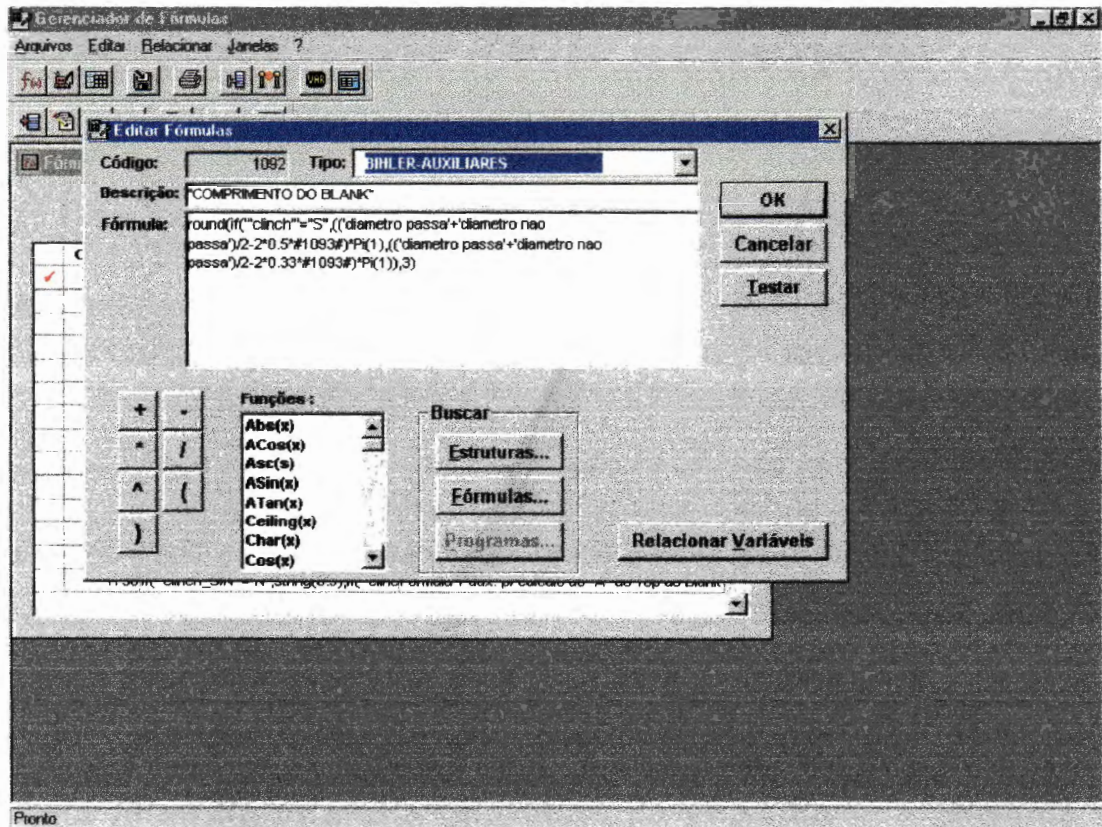


Figura 73: Uma das fórmulas de cálculo utilizadas

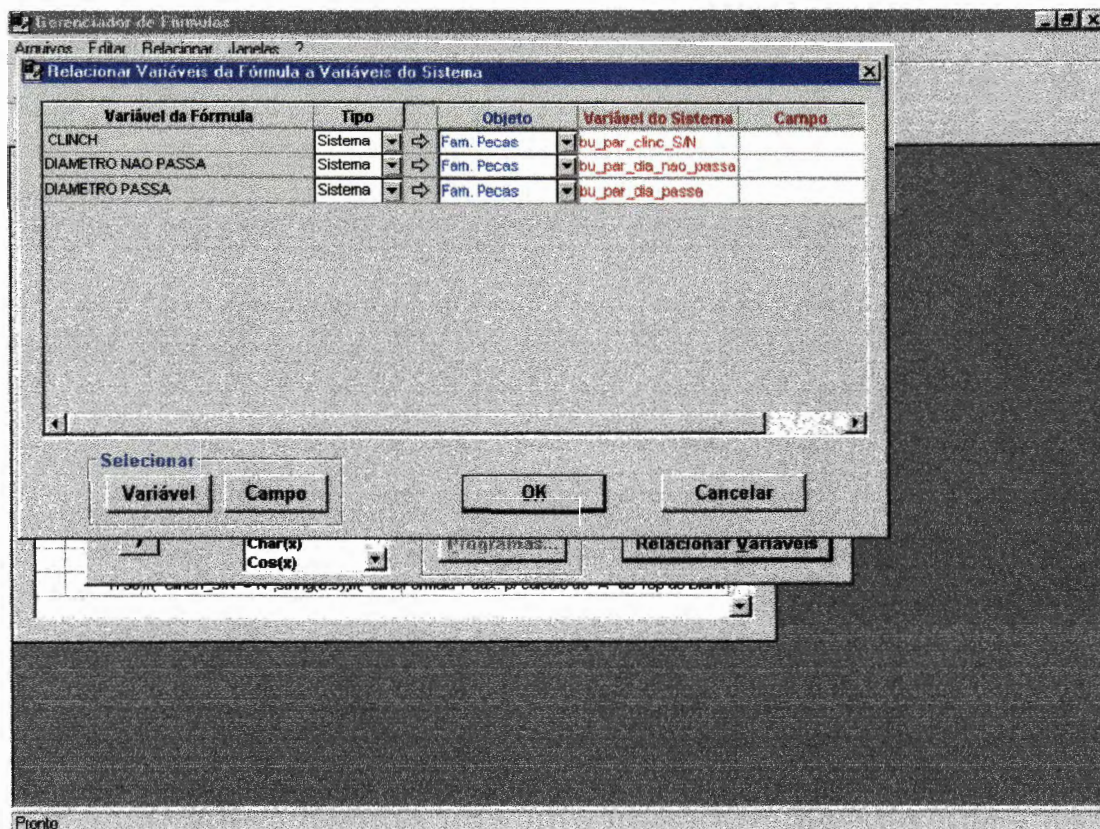


Figura 74: Relacionamento da variável da fórmula a uma variável de produto

Quando a fórmula está criada e suas variáveis relacionadas, ela já pode ser calculada. Basta informar onde o resultado deverá retornar. A figura 75 mostra o relacionamento da fórmula exemplo a uma variável de uma ferramenta de uma bronzina.

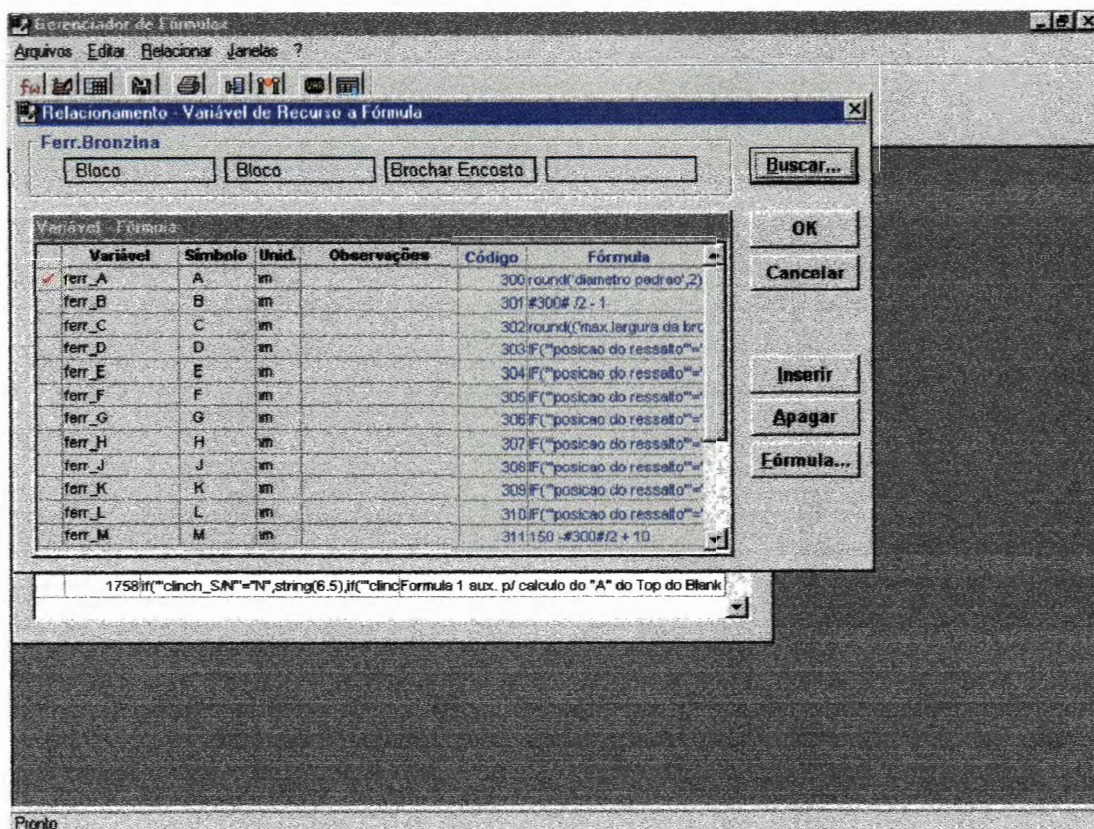


Figura 75: Resultado da fórmula retorna em uma variável de uma ferramenta

Para calcular automaticamente todas as ferramentas necessárias para uma determinada bronzina, é necessário ter-se um plano padrão para a bronzina em que cada operação contenha ferramentas. Copiando este plano padrão para uma nova bronzina e eliminando-se as operações desnecessárias, basta recalculas as ferramentas ligadas ao plano. A figura 76 mostra um plano de processo e a janela de ferramentas de uma operação aberta. Na figura 77 o sistema de cálculo automático está recalculando o ferramental do plano corrente.

Editor de Processos Macro

Arquivos Editar Extras Janelas ?

Caixa de diálogo: Cabeçalho

Nº: BC-06134 CTM: STD Nome: Bronzina

PM: PDU: Etapa: Código: 675 Rev.: Status: FP

Operações

Seq.	Máq.	
1.00	010.10	CORTAR E CURVAR
2.00	030.10	SELECIONAR A POS
2.00	030.20	ALIMENTAR ESTER
3.00	040.60	SOMAR QUANTIDA
3.00	040.60	MAQUINAS PARA O
3.00	040.40	FACEAR E CHANFR
3.00	040.40	QUEBRAR CANTOS
3.00	040.10	DIVIDIR A QUANTIDA
3.00	040.10	MAQUINAS
3.00	040.50	MEDIR LARGURA DA
4.00	050.20	ESTAMPAR O RESS
4.00	050.40	VERIFICACAO DO R
5.00	060.20	ESTAMPAR PRIMEIRO FURO CILINDRICO
5.00	060.30	VERIFICAR PRIMEIRO FURO
6.00	080.20	ESCAREAR PRIMEIRO FURO CILINDRICO
7.00	100.10	DIVIDIR A QUANTIDADE DE PECAS PARA AS DUAS
7.00	100.10	MAQUINAS
7.00	100.40	MEDIR PAREDE DO CANAL
7.00	100.60	SOMAR QUANTIDADE DE PECAS DAS DUAS
7.00	100.60	MAQUINAS PARA A PROXIMA OPERACAO
7.00	100.30	FRESAR CANAL DE OLEO E REBARBAR
8.00	110.20	REBARBAR PRIMEIRO FURO CILINDRICO

Lista de Ferramentas

Pos.	Código	Nome	MAG.
1	17-001-76-001-01-1	Barra de Mandril Esquerda	
1	17-001-76-002-01-1	Barra de Mandril Direita	
3	17-001-76-010-01-1	Capsula Faceamento Gde. Dir.	
2	17-001-76-011-01-1	Capsula Chanfro Externo Gde. Dir.	
4	17-001-76-012-01-1	Capsula Chanfro Interno Gde. Dir.	
6	TPMT 110204	Pastilha de Metal Duro	
5	TPMT 110204	Pastilha de Metal Duro	
7	TPMT 110204	Pastilha de Metal Duro	

Botões: Inserir..., Apagar, Consultar..., Renum..., Ordenar, Ajuda

Pronto

Figura 76: Plano de processo de uma bronzina e as ferramentas de uma operação

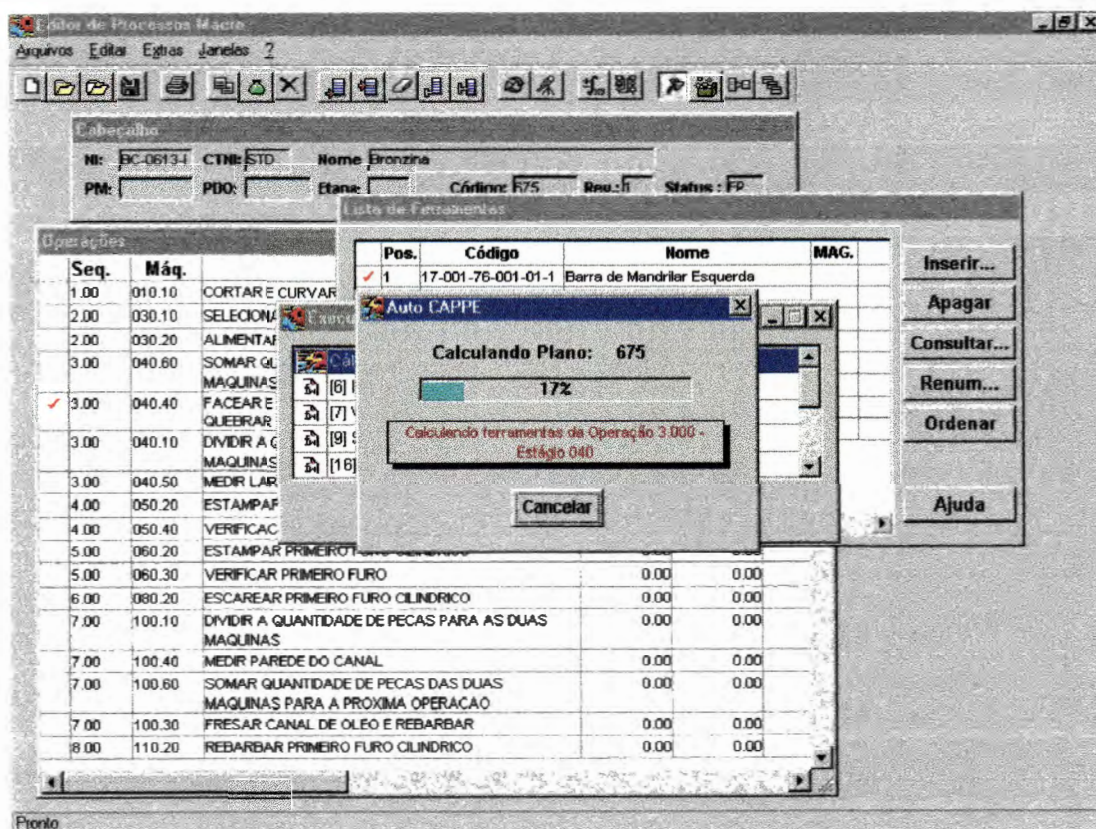


Figura 77: Recalculando as ferramentas de um plano

Após o recálculo as ferramentas contidas no plano são as corretas para a bronzina em questão. Um arquivo de *log* informa o que aconteceu a cada ferramenta do plano anterior (antes do recálculo), se ela foi mantida, trocada por outra existente ou foi criada uma nova. O processista confere cada ferramenta gerada e, se necessário, pede ao sistema para que este desenhe a ferramenta.

### 6.3.3. Detalhando o plano de processo

Outra atividade de importância na geração do plano de processo é a confecção dos detalhamentos. Cada operação pode ter até 7 detalhamentos diferentes, sendo que três deles são enviados ao chão-de-fábrica. A figura 78 ilustra uma operação do plano de processo e seus diferentes detalhamentos. Ao se pressionar o botão [Editar...] edita-se o documento selecionado na lista. A figura 79 mostra a edição do plano de qualidade da operação selecionada.



Editor de Processos Macro

Arquivos Editar Extras Janelas ?

Cabeçalho  
 Nr: BC-06134 CTN: STD Nome: Bronzina  
 PM: PDO: Etapa: Código: 675 Rev.: Status: EP

Operações			Lista de Detalhamentos					Inserir...
Seq.	Máq.	De	Código	Tipo	Resp.	Data	Hora	Apagar
1.00	010.10	CORTAR E CURVAR	43	IPS	CLAUSIA	04/09/96	14:54:06	Editar... Visualizar... Tempos Detalhes...
2.00	030.10	SELECIONAR A POSICAC	562	ISU	CLAUSIA	04/09/96	14:54:07	
2.00	030.20	ALIMENTAR ESTERA	1117	IJI	CLAUSIA	04/09/96	14:54:08	
3.00	040.60	SOMAR QUANTIDADE DE MAQUINAS PARA O PRO	1143	QUA	CLAUSIA	04/09/96	14:54:09	
✓ 3.00	040.40	FACEAR E CHANFRAR IN QUEBRAR CANTOS	1347	SET	CLAUSIA	04/09/96	14:54:10	
3.00	040.10	DIVDIR A QUANTIDADE E MAQUINAS	1236	SUB	CLAUSIA	04/09/96	14:54:20	
3.00	040.50	MEDIR LARGURA DA PEC						
4.00	050.20	ESTAMPAR O RESSALT						
4.00	050.40	VERIFICACAO DO RESSA						
5.00	060.20	ESTAMPAR PRIMEIRO FU						
5.00	060.30	VERIFICAR PRIMEIRO FU						
6.00	080.20	ESCARPEAR PRIMEIRO FU						
7.00	100.10	DIVDIR A QUANTIDADE DE PECAS PARA AS DUAS MAQUINAS			0.00		0.00	
7.00	100.40	MEDIR PAREDE DO CANAL			0.00		0.00	
7.00	100.60	SOMAR QUANTIDADE DE PECAS DAS DUAS MAQUINAS PARA A PROXIMA OPERACAO			0.00		0.00	
7.00	100.30	FRESAR CANAL DE OLEO E REBARBAR			0.00		0.00	
8.00	110.20	REBARBAR PRIMEIRO FURO CILINDRICO			0.00		0.00	

Pronto

Figura 78: Detalhamentos ligados a uma operação

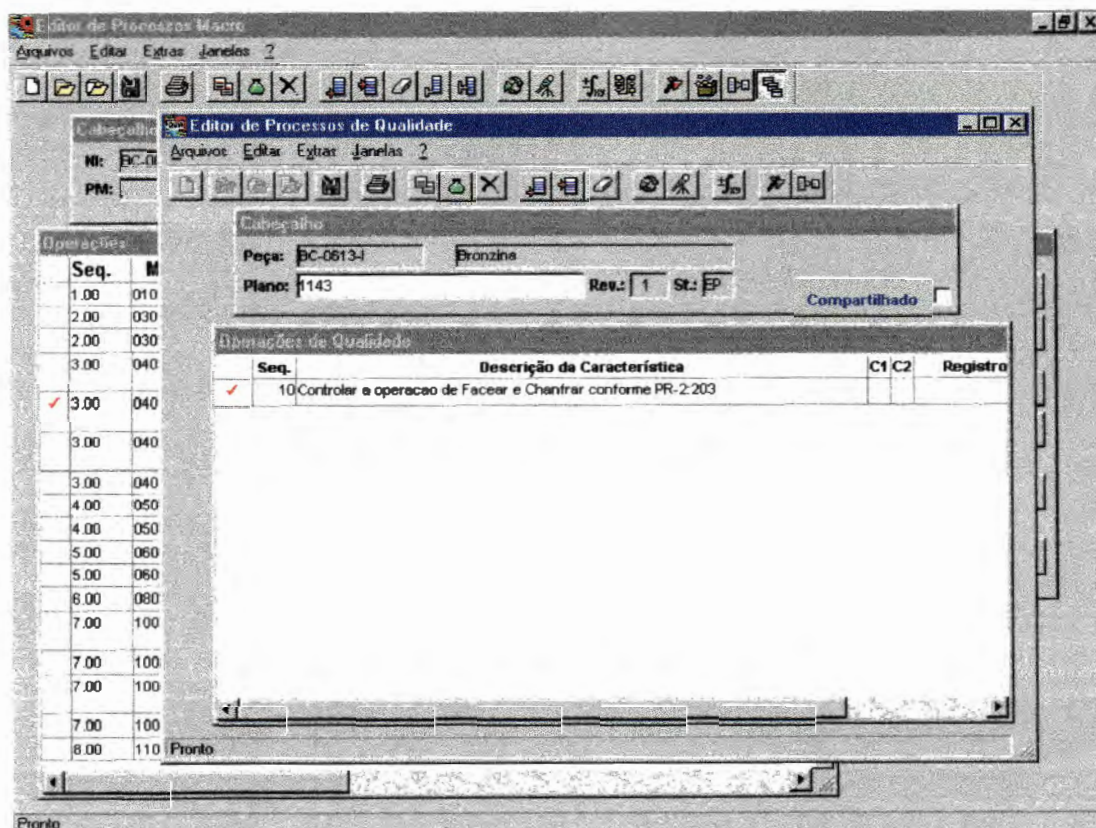


Figura 79: Detalhamento tipo plano de qualidade de uma operação

A figura 80 mostra a edição de um detalhamento gráfico cujo servidor é o AutoCAD. Tal detalhamento é construído automaticamente a partir dos parâmetros da operação e outras informações ligadas a ela. No anexo 1 pode-se ter uma idéia melhor da formação de um plano de processo completo.

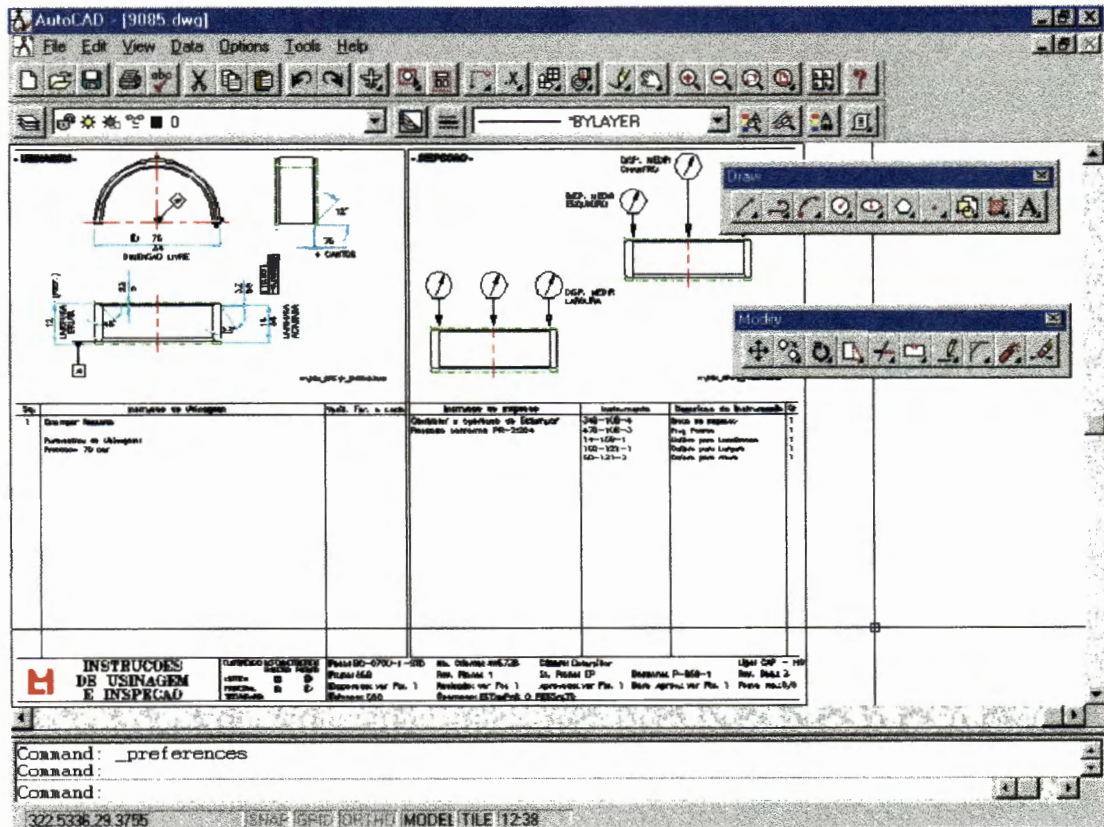


Figura 80: Detalhamento gráfico de uma operação

O processista não tem necessariamente que pedir o redesenho de folha por folha, a rotina de impressão do plano já faz isto automaticamente. A próxima etapa é aprovar o plano para então imprimi-lo. As figuras 81 e 82 mostram o usuário executando uma troca de status para aprovação do plano.

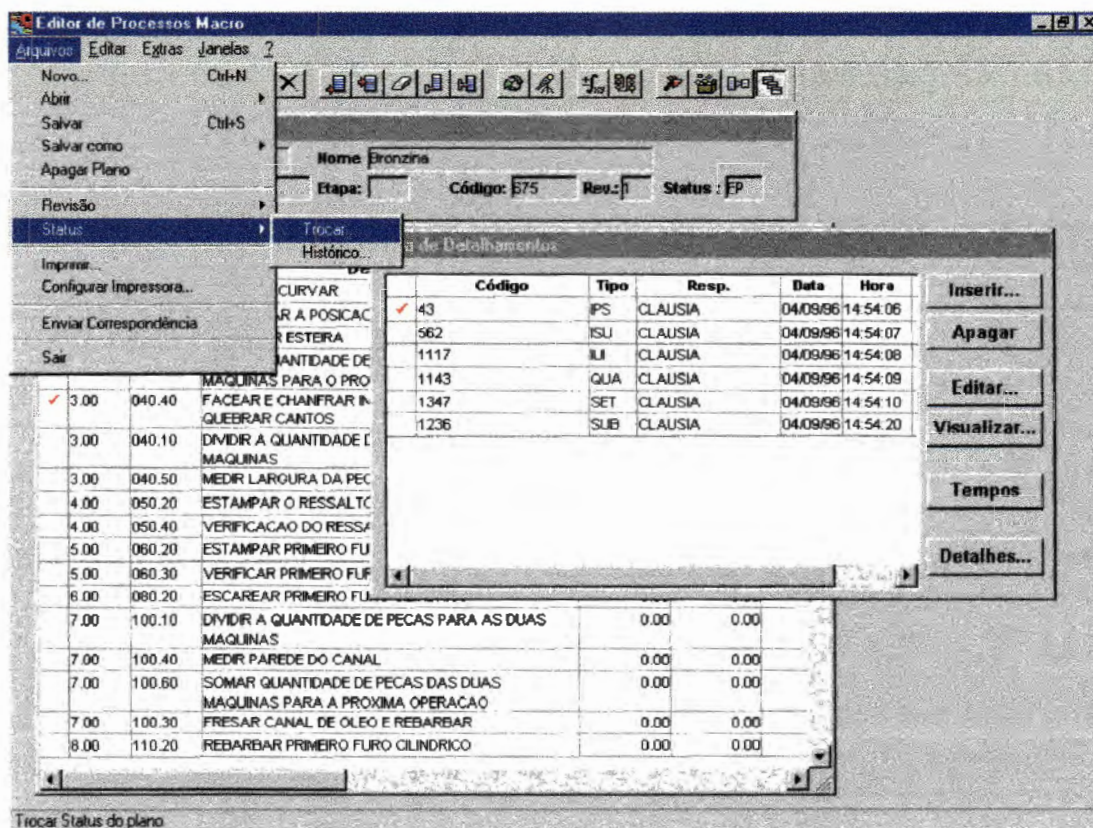


Figura 81: Ativando o comando de troca de status

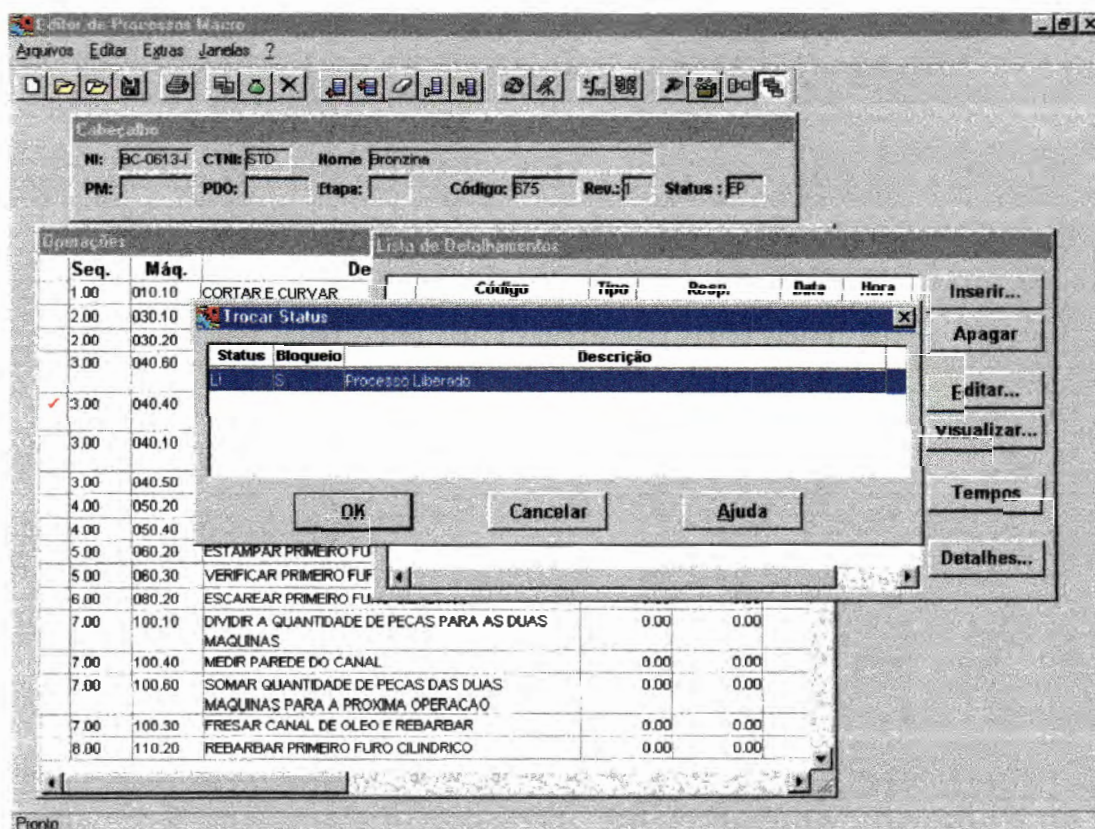


Figura 82: Opções para troca de status disponíveis.

#### 6.4. Abrangência da aplicação

O caso acima foi implantado como um projeto piloto em uma célula de fabricação de bronzinas. Neste momento a solução está sendo expandida para outras células, para a fábrica de tiras (que alimenta as células de bronzinas) e para a fábrica de buchas.

A aplicação deste tipo de solução pode se dar em qualquer ambiente que produza peças parametrizáveis e que use ferramental dedicado e/ou use documentação gráfica detalhada. A flexibilidade da solução CAPPE permite adaptação dos tipos de formulários usados para diversos ambientes fabris, entretanto em cada fábrica deve haver uma etapa anterior de estudo do nível de detalhamento dos planos.

As fórmulas que calculam os parâmetros de cada ferramentas podem ser geradas conforme a ferramenta, tornando o sistema de cálculo adaptável a diferentes realidades.

Está sendo realizado um estudo para aplicação desta tecnologia em engrenagens.

### **6.5. Resultados obtidos**

O tempo máximo de geração de um plano de processo do modo manual chegava a 30 dias, devido ao extensivo número de desenhos detalhados feitos e à geração dos desenhos de todo o ferramental, além do cálculo deste (apesar de boa parte do cálculo ser feito através de planilhas Excel). O tempo médio girava em torno de 15 dias.

Com o uso do software o tempo máximo foi reduzido para 4 horas (quando o plano requer muitos ajustes e são criadas muitas ferramentas), e o tempo médio de geração é de 2 horas.

Deve-se também considerar a redução de ferramental que foi implícita ao modo como o programa opera, entretanto tal parâmetro não foi mensurado devido ao pouco tempo de vida da célula CAP, que ainda não havia chegado a estabilização do estoque de ferramentas.

A documentação gerada pelo sistema é muito mais precisa e detalhada do que a gerada manualmente, contribuindo para maior qualidade no chão-de-fábrica. Nas constantes inspeções de clientes ao chão-de-fábrica estes mostraram-se altamente satisfeitos e até impressionados com a qualidade da documentação e do produto. Somente este resultado pode significar mais do que todo o aumento de produtividade obtido.

Além do aumento de qualidade da documentação impressionar positivamente a qualidade do produto, o aumento da assistência ao chão-de-fábrica devido ao tempo ganho pelo processista também trouxe resultados positivos (o processista agora investe mais tempo em elaboração de melhorias do processo). Os processistas agora contam com salas no chão-de-fábrica dentro das células, ou seja, apesar da diminuição do número de processistas ser uma consequência aparentemente natural, devido ao aumento de produtividade, tal fato não ocorreu, pois mostrou-se que a assistência ao chão-de-fábrica era extremamente deficitária.

Para atingir tais resultados foram necessários oito meses de empenho de uma equipe de duas pessoas, no levantamento das fórmulas para cálculo de ferramentas e especificação de ajustes no software.

## 7. Conclusões e trabalhos futuros

A maioria dos desenvolvimentos em CAPP existentes busca a solução de problemas de raciocínio humano, o que certamente é muito desafiador do ponto de vista da pesquisa em IA, entretanto o conhecimento de engenharia de manufatura agregado por tais soluções é relativamente pequeno. O foco em automação total do planejamento de processo provou ser uma solução restrita e de pouca aplicação prática.

Por outro lado, o uso do CAPP é essencial para evitar o descompasso na engenharia das empresas, que já conta com sistemas computacionais para outras áreas como projeto (CAD) e produção (MRP).

A busca da melhor solução iniciou com o estudo dos processos existentes na elaboração do plano de processo. Conforme demonstrado, a concepção do processo toma relativamente pouco tempo do processista, enquanto que tarefas como digitação, recuperação de planos e cálculos consomem 90% do seu tempo.

Um CAPP que possua aplicação prática deve então apoiar o processista nas tarefas de maior consumo de tempo, e onde possível, de maneira específica, aplicar automação, sem necessariamente o uso de técnicas de IA.

As peças paramétricas são um bom campo onde um CAPP abrangente e genérico pode ser aplicado, devido ao “bom comportamento” do item planejado. Devido a este bom comportamento, até o lay-out da fábrica torna-se bem comportado e por consequência o plano de processo. A aplicação de algoritmos que seqüenciam e até geram as operações torna-se um problema bem mais simples.

Como o CAPP aplicado oferecia grande flexibilidade, foi possível implementar uma solução específica para peças paramétricas que obteve grande ganho de produtividade.

Demonstrou-se que o foco na automação de dois problemas específicos do planejamento de processo de peças paramétricas, a geração de ferramental e documentação gráfica ofereceu um aumento de produtividade da ordem de 40 vezes em relação ao método manual, utilizando-se apenas equações matemáticas que inter-relacionavam parâmetros de produtos e suas respectivas ferramentas. Nenhuma técnica de IA foi aplicada, todas as decisões que envolvem raciocínio estão a cargo do processista.

Uma consequência direta de aumento de produtividade no planejamento normalmente é a redução do número de processistas, mas mostrou-se que a assistência ao chão-de-fábrica fornecida pela engenharia era falha, sendo o processista deslocado para o chão-de-fábrica para fornecer melhor assistência.

A qualidade inerente ao planejamento automático mostrou efeitos positivos na qualidade do produto e na satisfação de clientes internacionais, aumentando as possibilidades de mercado da empresa usuária.

Apesar da aplicação prática em apenas um caso, a solução mostrou-se genérica o suficiente para aprovação de aplicação em outros casos e mesmo em diferentes empresas.

Mesmo com a ordem dos ganhos obtidos e mostrados, é muito difícil justificar o investimento em tecnologia CAPP. Comparado ao parque fabril brasileiro, o número de empresas atuais que contam com tecnologia CAPP é extremamente reduzido. Atribui-se tal fato à relativa novidade da tecnologia e a complexidade técnica do campo de atuação.

No futuro planeja-se:

- Melhorar a interface do gerenciador de fórmulas para facilitar o relacionamento das fórmulas aos objetos que devem receber o resultados dos seus cálculos.
- Melhorar a capacidade de organização de fórmulas no gerenciador de fórmulas. O número de fórmulas levantadas superou a expectativa inicial, passando de 1400 fórmulas, e o sistema inicial não fornece bons recursos para organização destas.
- Aplicar o sistema em diversos outros casos de peças parametrizáveis



- Aplicar o sistema para cálculo de seqüenciamento de operações em ambientes celulares.
- Estudar a aplicabilidade de redes neurais para resolução de determinados problemas de planejamento de processo.

## **Bibliografia**

- AGOSTINHO, O.L.; RODRIGUES, A.C.S.; LIRANI, J.** Princípios de engenharia de fabricação mecânica: processos de fabricação. v. 01 EESC, São Carlos, 1978.
- ALLEN, D.K.**, Generative process planning using the DCLASS information system, monograph no.14, CAM software research laboratory, Brigham Young University, Inglaterra, 1979.
- ANDERSON, J.A.**, Neural Models with cognitive implications. Em: Basic Processes in Reading Perception and Comprehension. Editora D. LaBerge e S. J. Samuels, New Jersey, EUA, 1977.
- ALTING, L.; ZHANG, H** Computer Aided Process Planning: The state of the art survey. Int. Jornal Prod. Res., vol.27,n4 p.553-585, Dinamarca, 1989.
- ATKINSON, A. O.; LINDBERG, J.R.** CAPP enables concurrent design and manufacturability analysis., p.283-291, 1991.
- BOEHS, L.** Projeto e implantação de um sistema computadorizado de banco de dados de usinagem (CINFUS). Tese (Doutor em Engenharia Mecânica) UFSC, 1988.
- BRAID, I.C., LANG, C.A.** Computer Aided Design of mechanical components with volume building bricks, in Computer Languages for Numerical Control, Editora J. Hatvany, Holanda, 1973.
- BRAID, I.C.**, Notes on a Geometric modeller, CAD Group Document No. 101, Computer Laboratory, Cambridge, 1979.

**CAM-I**- Functional requirements for a feature based modelling System, CAM-I, Arlington, EUA, 1989.

**CHANG, T.-C.**, Geometric Reasoning- The key to integrated process planning, Proceedings of the 22nd CIRP International Seminar on Manufacturing Systems, Holanda, 1990.

**CHIYOKURA, H.** Solid Modelling with Designbase, Editora Addison-Wesley, 1988.

**CHUNG, J. C; COOK, R.L.; PATEL, D.;SIMMONS, M.K.**, Feature based geometry construction for geometric reasoning, ASME Computers in Engineering Conference, San Francisco, 1988.

**CIMTELLIGENCE** Home page em [www.cimtelligence.com](http://www.cimtelligence.com), Estados Unidos da América, 1997

**CIMX** Home page em [www.cimx.com](http://www.cimx.com), Estados Unidos da América, 1997.

**CUTCOSKY, M.; TENEMBAUM, J.; MILLER, D.**, Feature Based Design, ASME Computers in Engineering Conference, San Francisco, 1988.

**DARBYSHIRE, I.L., DAVIES, B.J.**, EXCAPP:an expert system's approach to recursive process planning, Proceedings of the 16th CIRP International Seminar on Manufacturing Systems, Tokyo, 1984.

**DESCOTE, Y., LATOMBE, J.C.**, GARI: a problem solver that plans to machine mechanical parts, Proceedings of IJCAI-7, 766-772, 1981.

**EASTMAN, C.; HENRION, M.**, GLIDE: a language for design information systems, Proceedings of SIGGRAPH'77, vol. 11 pp. 24-33, 1977.

**EMMERIK, M.J.G.M.**, Interactive design of parametrized 3D models by direct manipulation, Phd. Thesis, Delft University of Technology, 1990.

**EVERSHEIM, W.; KONIG, W.** Computer aided determination and optimization of cutting data and cutting time. p.01-08, 1978.

**FEIGENBAUM, E.A.**, The art of Artificial Intelligence: I. Themes and case studies of knowledge engineering. Proceedings of IJCAI 6, Tokyo, 1977.

**FERREIRA, P.M.; KOCHAR, B.; LIU, C.R.; CHANDRU, V.** AIFIX: An expert system approach to fixture design. Computer-Aided/Intelligent Process Planning. New York: The American Society of Mechanical Engineers, p.73-82, p.73-82, 1985.

**GIRONDI, A. C. ; FERREIRA, A. C. ; BOCHS, L.** Determinações automáticas de condições de usinagem na programação APT de Máquinas NC. Revista MAQUINAS E METAIS , p.134-138,1988 .

**GIUSTI, F., SANTOCHI, M., DINI, G.**, COATS:an expert module for optimal tool selection, Annals of the CIRP, vol 38/1, 1996.

**HALEVI, G.; WEILL, R.D.** Principles of Process Planning: a logical approach, Editora Chapman & Hall, Inglaterra, 1995.

**HOFSTADTER, D.R.** Metamagical Themas, Bantam Books, New York, 1985.

**HOSAKA, M.; KIMURA, F.; KAKISHITA, N.** A unified method for processing polyhedra, Information processing, Holanda, 1974.

**HOUTEN, F.J.A.M.** PART: A Computer Aided Process Planning System, Phd. Thesis, Universidade de Twente, Holanda, 1991.

**HUMMEL, K.E., BROOKS, S.L.**, Symbolic representation of manufacturing features for an automated process planning system, ASME winter annual meeting, Anaheim, EUA, 1986.

**HUMMEL, K. E.**, The role of features in computer aided process planning, Proceedings of the CAM-I features symposium, 1990.

**ISO82-** ISO 6983. Numerical control of machines - Program format and definition of address words, Part 1: Data format for positioning, line motion and contouring control systems, 14p, 1982.

**ISO88a-** ISO 6983. Numerical control of machines - Program format and definition of address words, Part 2: Coding and maintenance of preparatory functions G and universal miscellaneous functions M, 9p, 1988.

**ISO88b-** ISO 6983. Numerical control of machines - Program format and definition of address words, Part 3: Coding of miscellaneous functions M (classes 1 to 9), 17p, 1988.

**KIMURA, F.,** GEOMAPIII: Designing solids with free form surfaces, IEEE Computer Graphics and Applications, pp 4, 6, 58-72, 1984.

**KRUTH J. P., VAN ZEIR G., DETAND J.,** An interactive CAPP kernel based on a blackboard system architecture, Proceedings of the 16th International ASME-Design Engineering Technical Conferences and Computers in Engineering Conference, CD-ROM, Irvine, California, 1996.

**LI, J.C., HAN, C.; HAM, I.,** CORE-CAPP: a company-oriented semi-generative computer aided process planning system, Proceedings of the 19th CIR international seminar on manufacturing systems, Pennsylvania State University, 1987.

**MACHADO, A.** Comando numérico aplicado às máquinas ferramenta, Ícone Editora, 1986.

**MATSUSHIMA, K.; OKADA, N.; SATA, T.,** The integration of CAD and CAM by application of artificial intelligence techniques. Annals of the CIRP, vol 31/1, 1992.

**NAU, D.S.; CHANG, T.C.,** Prospects for process selection using AI, Computers in Industry, vol 4, 1983.

**NAU, D.; GRAY, M.**, SIPS: an application of hierarchical knowledge clustering to process planning, ASME winter annual meeting, Anaheim, EUA, 1986.

**OKINO, N.; KAKAZU, Y. KUBO** TIPS-1: technical information processing system for Computer Aided Design, drawing and manufacturing, in Computer Languages for Numerical Control, Editora J. Hatvany, Holanda, 1973.

**PRACK, K.W.**, Systemkonzept zur standardisierten rechnerunterstützten Arbeitsplanung, Phd. Thesis, IFW, Universidade de Hannover, Alemanha, 1984.

**PROENÇA, A.** O cronômetro em crise: um estudo comparativo do controle do tempo de trabalho em máquina-ferramenta convencional e máquina-ferramenta a controle numérico. Rio de Janeiro: Universidade Federal,. 205p. Dissertação (Mestre em Engenharia de Produção) UFRJ, 1987.

**REQUICHA, A.A.G.**, Form Features for mechanical design and manufacturing, ASME Computers in Engineering Conference, Anaheim, EUA, 1989.

**ROZENFELD, H.; MODOLO, D.L.** Sistema modular de planejamento de processo (CAPP) visando padronização e maior velocidade ao planejamento do processos. COBEM. p.591-593, São Paulo, 1991.

**ROZENFELD, H.; RODRIGUES, S.R.; OLIVEIRA, J.F.G.** AI based CAPP methods integrated into a CAPP environment. MATADOR CONFERENCE, p.53-63, Manchester, 1992.

**ROZENFELD, H.** Implantação distribuída de processo assistido pós computador na manufatura integrada. São Carlos, 1992. 152p. Tese (Livre Docência) - Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo.

**ROZENFELD, H.** Sistema CAPP: seus conceitos, casos práticos e desenvolvimentos, Revista Máquinas e Metais, pp.124 - 142, São Paulo, março de 1994.

**SHAH, J.J.**, et al, Current status of features technology, CAM-I report R-88-GM-04, 1988.

**SHAH, J.J.; ROGERS, M.T.**; Functional requirements and conceptual design of feature based modelling systems, Computer Aided Engineering Journal, pp. 9-15, 1988.

**SHAH, J.J.; ROGERS, M.T.**; Feature based modelling shell: design and implementation, in Proceedings of the ASME Computers in Engineering conference, San Francisco, 1988.

**SHAH, J.J.**, Feature Transformations between application specific feature spaces, CAE journal, 5, n.6, 1989,

**SHAH, J.J.**, Philosophical development of form feature concept, in Proceedings of the CAM-I features symposium, pp. 113-128, 1990.

**SMITH, R.** 1996 Jolt & Productivity Awards, artigo publicado na revista Software Development, pp.32-41, junho, 1997.

**SPUR, G. GAUSEMEIR, J.** Processing of workpiece information for production engineering drawing, Proceedings of the 16th international Machine Tool Design and Research Conference, pp. 19-75, Manchester, 1975

**TEMPELHOF, K.H.**, A system of computer aided process planning for machine parts, SME technical paper, series MS-79-154, 1979.

**TULKOFF, J.**, Lockheed's GENPLAN, 18th Numerical control society technical conference, Dallas, pp. 417-421, 1981.

**TURNER, G.P., ANDERSON, D.C.**, An object oriented approach to interactive feature based design for quick turn around manufacturing, ASME Computers in Engineering Conference, San Francisco, 1988.

**VALVO, E.L.; PIACENTINI, M.; RUISI, V.F.** Computer aided blank layout optimum design. CIRP INTERNATIONAL SEMINAR ON MANUFACTURING SYSTEMS, 24. p.183-188 Copenhagen, 1992.

**VAN ZEIR G., KRUTH J. P., DETAND J.**, A Taxonomy for Interactive and Blackboard based CAPP, Proceedings of the 2nd International Conference on Manufacturing Automation (ICMA'97), vol. 1, pp.188-195, Hong Kong University, Hong Kong, 1997.

**VIEIRA NETO JR., A.** Cálculo de custo de fabricação integrado ao planejamento de operações. Dissertação (Mestre em Engenharia Mecânica) EESC-USP.São Carlos, 1992.

**WADZ, O.R.** Now tolerance charts by computers, 1973.

**WANG, H.-P.; LI, J.** Computer -Aided Process Planning in: Advances in Industrial Engineering, 13, Elsevier Science Publishers, Holanda, 1991.

**WANG, H.-P., WYSK, R.A.**, An expert system for machining data selection, Computers in industrial engineering, pp. 99-107, 1986.



**Anexo 1: Exemplo de um plano de processo**

Código: BC-0790-S                      Revisão: 0      Processo: 683                      Rev.: 1  
 Desenho: 52107905                      Processista:CLAUSIA  
 Descrição: Bronzina

Op.	Descrição da Operação	Máq.	Ferramentas	Qtde	TP	TH	TM	H	Det
1.000	CORTAR E CURVAR	010.10			0.0	0.0		0	QUA SUB IUI
2.000	RETIRAR PECAS DA ESTUFA UTILIZANDO O CARRINHO APROPRIADO	020.30			0.0	0.0		0	
2.000	TRATAMENTO TERMICO 180 Graus x 03 h CONFORME PR 2.324-A	020.20			0.0	0.0		0	
2.000	TRANSPORTAR PECAS PARA ESTUFA UTILIZANDO O CARRINHO APROPRIADO	020.10			0.0	0.0		0	
2.500	TAMBORAR				0.0	0.0		0	
3.000	ALIMENTAR ESTEIRA	030.20			0.0	0.0		0	
3.000	SELECIONAR A POSICAO E ELEVAR PECA	030.10			0.0	0.0		0	
4.000	SOMAR QUANTIDADE DE PECAS DAS DUAS MAQUINAS PARA O PROXIMO ESTAGIO	040.60			0.0	0.0		0	
4.000	FACEAR E CHANFRAR INTERNO E EXTERNO E QUEBRAR CANTOS	040.40	17-001-76-001-01-1	2	0.0	0.0			IPS
			17-001-76-002-01-1	2					ISU
			SDMT-0903	4					IUI
			SDMT-0903	4					QUA
			SPEB 090308	4					SET
			17-001-76-003-01-3	4					SUB
			17-001-76-013-01-3	4					
			17-001-76-014-01-3	4					
			17-001-76-004-01-3	4					
			17-001-76-007-01-3	4					
			17-001-76-008-01-3	4					
4.000	MEDIR LARGURA DA PECA	040.50			0.0	0.0		0	
4.000	DIVIDIR A QUANTIDADE DE PECAS PARA AS DUAS MAQUINAS	040.10			0.0	0.0		0	
5.000	ESTAMPAR O RESSALTO	050.20			0.0	0.0			ISU IUI QUA SET SUB
5.000	VERIFICACAO DO RESSALTO	050.40			0.0	0.0		0	
6.000	SAIDA DAS PECAS	060.40			0.0	0.0		0	
6.000	VERIFICAR FURO	060.30			0.0	0.0		0	
6.000	ESTAMPAR PRIMEIRO FURO OBLONGO	060.20			0.0	0.0		0	IUI QUA SET SUB ISU
6.000	ALIMENTAR MAQUINA PARA ESTAMPAR PRIMEIRO FURO	060.10			0.0	0.0		0	

Código: BC-0790-S

Revisão: 0

Processo: 683

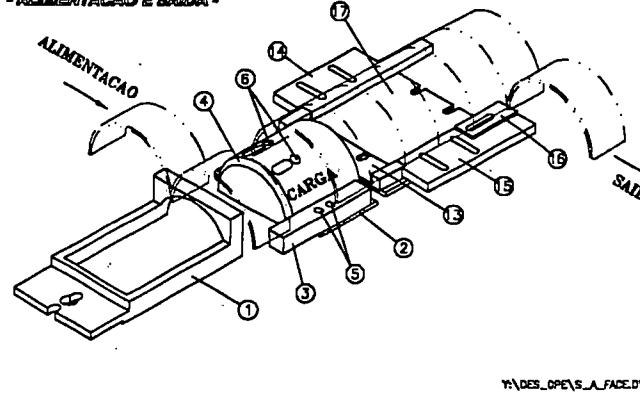
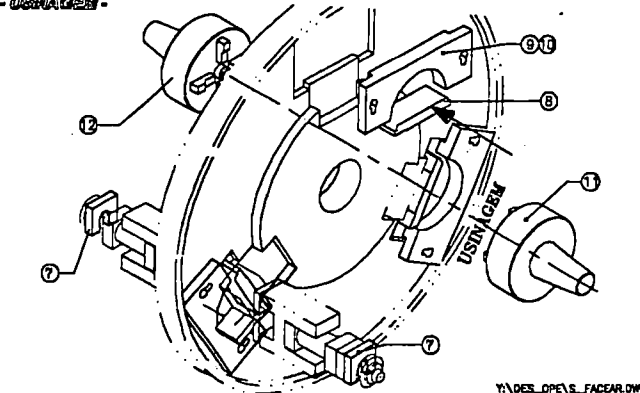
Rev.: 1


Desenho: 52107905

Processista:CLAUSIA

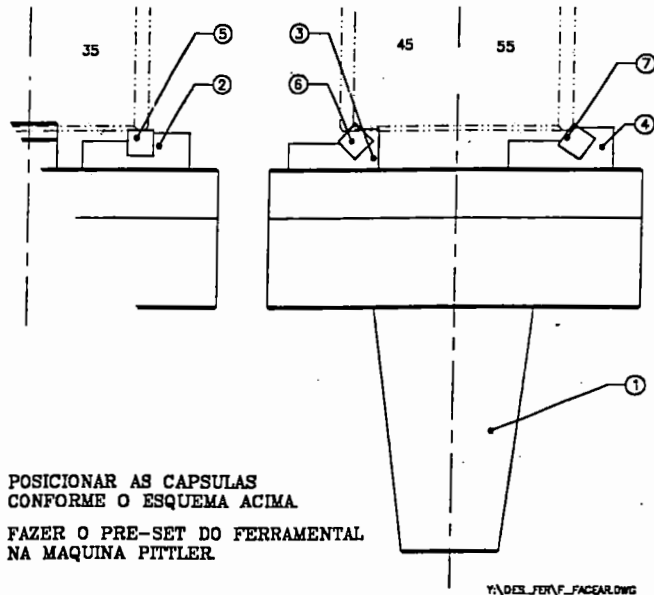
Descrição: Bronzina

Op.	Descrição da Operação	Máq.	Ferramentas	Qtde	TP	TH	TM	H	Det
7.000	FRESAR CANAL DE OLEO E REBARBAR	100.30	M5	12	0.0	0.0		0	IPS
			AEG-C-130339-2	1					ISU
			AEG-F-130339	1					IUI
			AEG-I-130337	1					QUA
									SET
									SUB
									CNC
7.000	DIVIDIR A QUANTIDADE DE PECAS PARA AS DUAS MAQUINAS	100.10			0.0	0.0		0	
7.000	SOMAR QUANTIDADE DE PECAS DAS DUAS MAQUINAS PARA A PROXIMA OPERACAO	100.60			0.0	0.0		0	
7.000	MEDIR PAREDE DO CANAL	100.40			0.0	0.0		0	
8.000	REBARBAR PRIMEIRO FURO OBLONGO	110.20	409-A130	2	0.0	0.0		0	IPS
									ISU
									IUI
									QUA
									SET
									SUB
9.000	LINHA DE FLANGE MONTADO				0.0	0.0		0	

	Seq	Instrucao de Set-Up	Qt	Ferramenta	Descricao da Ferramenta	Qt
<p><b>- ALIMENTACAO E SAIDA -</b></p>  <p>Y:\DES_OPE\S_A_FACE.DWG</p>	20	- ALIMENTACAO -				
	21	Montar posicionador da bronzina com chave Allen M6 as 02 parafusos Allen M8 x 20 DIN 912	1	040.02.05.1.0700.3.00	Posicionador	2
	22	Montar conjunto de alimentacao com chave Allen M4 as 02 parafusos Allen M5 x 15 DIN 912	2	040.02.03.1.0700.3.00	Guia de Alimentacao	2
			3	040.02.04.1.0700.3.00	Botante de Alimentacao	2
			4	040.02.02.1.0700.3.00	Guia Interna	2
			5	M5x15 DIN 912	Parafuso Cab. Cil. Sext. Int	4
			6	M5x10 DIN 912	Parafuso Cab. Cil. Sext. Int	4
	30	- CENTRAGEM -				
	31	Ajustar posicao do centrador com distanciador	7	040.03.01.1.0700.3.00	Distanciador do Centrador	2
	40	- USINAGEM -				
	41	Montar Chapas de Fixacao na Estrela	8	040.04.04.1.0700.3.00	Chapa de Fixacao	8
	42	Montar Blocos na Estrela	9	040.04.02.1.0700.3.00	Pino Extrator	8
			10	040.04.03.1.0700.3.00	Bloco	8
	43	Montar Barras de Chanfrar nos Cones	11	17-001-75-002-01-1	Barra de Mandril Direita	2
			12	17-001-75-001-01-1	Barra de Mandril Esquerda	2
	50	- SAIDA -				
	51	Montar Calha de Saida na Saida de Pecas e regular as Guias Laterais	13	040.05.03.1.0700.3.00	Calha de Saida	2
			17	17-001-75-002-01-2	Saida de Pecas	2
					Montar o Conjunto de Saida no Suporte da Maquina	
	80	- QUEBRAR CANTOS -				
	81	Ajustar a Guia Movel conforme a Largura da Peca	1	L33152-200550MM	Freio Esquerda	1
			1	R33152-200550MM	Freio Direita	1
			1	N331-1A-115008H-WL	Pastilha classe GCA	24
<p><b>- USINAGEM -</b></p>  <p>Y:\DES_OPE\S_FACEAR.DWG</p>						

	<p><b>INSTRUCOES DE SET-UP</b></p>	<p>Peca: BC-0700-1 - STD Plano: 659 Elaborado: Ver Fol. 1 Estacao: 040</p>	<p>No. Cliente: 4W5738 Rev. Plano: 1 Revisado: Ver Fol. 1</p>	<p>Cliente: Caterpillar St. Plano: EP Aprovado: Ver Fol. 1</p>	<p>Desenho: P-959-1 Data Aprov.: Ver Fol. 1</p>	<p>Liga: CAP - HD Rev. Des.: 3 Folha No.: 0/0</p>
<p>Operacao: FACEAR E CHANFRAR INTERNO E EXTER</p>						

- PRE-SET -



POSICIONAR AS CAPSULAS  
CONFORME O ESQUEMA ACIMA.  
FAZER O PRE-SET DO FERRAMENTAL  
NA MAQUINA PITTLER.

Pos.	Ferramenta	Descricao da Ferramenta	Qtda.	Qtda+Reserva
1	17-001-76-001-01-1	Barra de Mandrilor Esquerda	1	2
1	17-001-76-002-01-1	Barra de Mandrilor Direita	1	2
2	17-001-76-010-01-3	Capsula Faceamento Gde Dir.	4	8
2	17-001-76-009-01-3	Capsula Faceamento Gde Esq.	4	8
3	17-001-76-012-01-3	Capsula Chanfro Interno Gde Dir.	2	4
3	17-001-76-008-01-3	Capsula Chanfro Interno Gde Esq.	2	4
4	17-001-76-011-01-3	Capsula Chanfro Externo Gde Dir.	2	4
4	17-001-76-005-01-3	Capsula Chanfrar Externo Gde Esq.	2	4
5	SDMT-0903	Pastilha de Metal Duro	8	16
6	SDMT-0903	Pastilha de Metal Duro	4	8
7	SPEB 090308	Pastilha de Metal Duro	4	8

**M** METAL LEVE

**INSTRUÇÕES  
DE PRE-SET**

Peca: BC-0700-I - STD  
Plano: 659  
Elaborado: Ver Fol. 1  
Estacao: 040

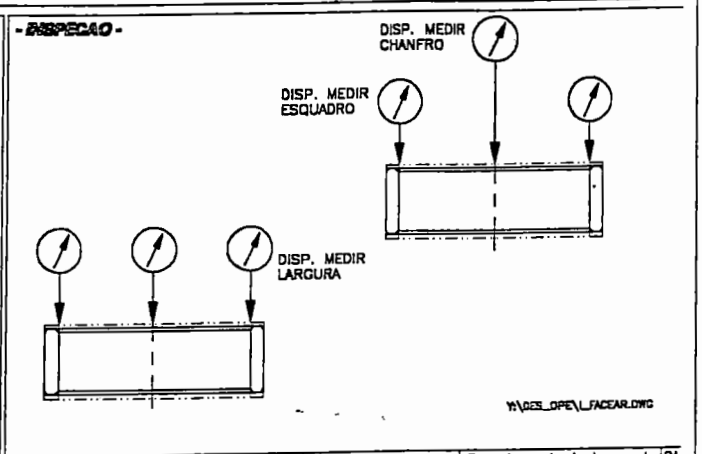
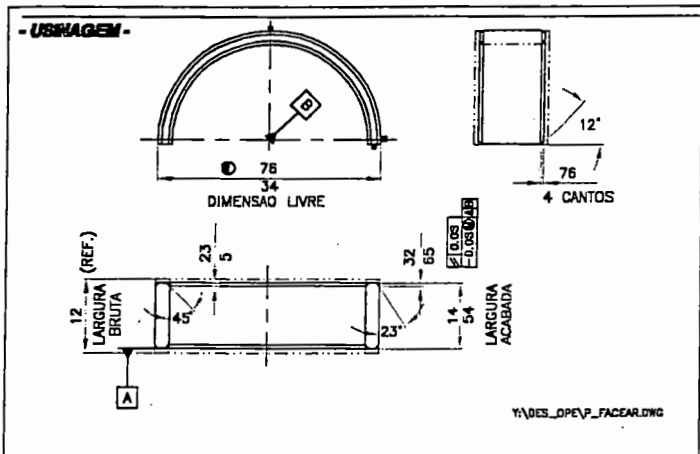
No. Cliente: 4WS738  
Rev. Plano: 1  
Revisado: Ver Fol. 1

Cliente: Caterpillar  
St. Plano: EP  
Aprovado: Ver Fol. 1  
Operacao: FACEAR E CHANFRAR INTERNO E EXTER

Desenho: P-959-1

Data Aprov.: Ver Fol. 1

Liga: CAP - HD  
Rev. Des.: 3  
Folha No.: 0/0



Sq.	Instrucao de Usinagem	Verif. Fer. a cada	Instrucao de Inspecao	Instrumento	Descricao do Instrumento QI
1	Estampar Ressalto Parametros de Usinagem: Pressao= 70 bar		Controlar a operacao de Estampar Ressalto conforme PR-2:204	349-108-4 470-108-3 14-159-1 102-121-1 60-121-2	Bloco de Inspecao Plug Padrao Calibre para Localizacao Calibre para Largura Calibre para Altura

**M INSTRUÇÕES DE USINAGEM E INSPEÇÃO**

CLASSIFICACAO DAS CARACTERISTICAS: CRITICA (■), PRINCIPAL (□), SECUNDARIA (○)

PROCESSO: [ ] PRONTO: [ ]

Peca: 8C-0700-1 -STD No. Cliente: 4W5738 Cliente: Caterpillar Liga: CAP - HD  
 Plano: 659 Rev. Plano: 1 St. Plano: EP Desenho: P-959-1 Rev. Des.: 3  
 Elaborado: Ver Fol. 1 Revisado: Ver Fol. 1 Aprovado: Ver Fol. 1 Data Aprov.: Ver Fol. 1 Folha No.: 0/0  
 Estacao: 050 Operacao: ESTAMPAR O RESSALTO