

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS**

**Desenvolvimento de Interface entre o Projeto Auxiliado por  
Computador e a Administração de Materiais**

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE A REDAÇÃO FINAL DA  
TESE DEFENDIDA POR Claudemir  
Gimenez E APROVADA PELA  
COMISSÃO JULGADORA EM 31/01/96.

Telles  
ORIENTADOR

Autor: **Claudemir Gimenez**  
Orientador: **Prof. Dr. Geraldo Nonato Telles**

Dissertação de mestrado apresentado à comissão de Pós Graduação da Faculdade de Engenharia Mecânica, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica.

Campinas, 1996  
S.P. - Brasil

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**Desenvolvimento de Interface entre o Projeto Auxiliado por  
Computador e a Administração de Materiais**


Autor: **Claudemir Gimenez**

Orientador: **Prof. Dr. Geraldo Nonato Telles**



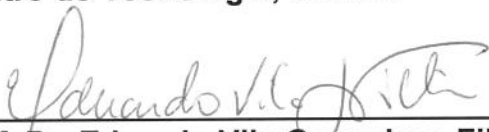
---

**Prof. Dr. Geraldo Nonato Telles, Presidente  
Faculdade de Engenharia Mecânica, UNICAMP**



---

**Prof. Dr. Sílvio Roberto Ignácio Pires  
Centro de Tecnologia, UNIMEP**



---

**Prof. Dr. Eduardo Vila Gonçalves Filho  
Escola de Engenharia de São Carlos, USP**

Campinas, 31 de janeiro de 1996

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA  
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

G429d            Gimenez, Claudemir  
                    Desenvolvimento de interface entre o projeto auxiliado  
                    por computador e a administração de materiais /  
                    Claudemir Gimenez.--Campinas, SP: [s.n.], 1996.

                    Orientador: Geraldo Nonato Telles.  
                    Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de  
                    Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica.

                    1. Sistema CAD/CAM. 2. Interfaces (Computador).  
                    3. Processos de fabricação. 4. Administração de material.  
                    5. Sistemas de fabricação integrada. I. Telles, Geraldo  
                    Nonato. II. Universidade Estadual de Campinas.  
                    Faculdade de Engenharia Mecânica. III. Título.

## **Agradecimentos**

Ao Professor Geraldo pela orientação, apoio e oportunidade concedida para o desenvolvimento desse trabalho.

Aos meus pais pelo apoio em todos os momentos, inclusive aqueles difíceis, de minha vida.

Aos professores, colegas e funcionários, que ajudaram de forma direta e indireta na conclusão desse trabalho.

Ao CNPq pelo apoio financeiro.



## Sumário

Agradecimentos	i
Sumário	ii
Relação de figuras	iv
Relação de tabelas	v
Nomenclatura	vi
Resumo	viii
Abstract	ix
1 Introdução	01
2 Revisão bibliográfica	04
2.1 A transformação do mercado	04
2.1.1 A diversificação do mercado	04
2.1.2 Competitividade industrial	06
2.1.3 O projeto de um produto industrial	07
2.1.4 O conceito de adequação	07
2.1.5 Os ciclos tecnológicos	08
2.1.6 Tempo e tecnologia	09
2.2 O projeto auxiliado por computador (CAD)	10
2.2.1 Sistemas CAD	10
2.2.2 Formatos para comunicação	11
2.2.2.1 O padrão IGES	11
2.2.3 Integração CAD/CAPP	12
2.2.4 Engenharia simultânea	14

2.3	O planejamento de processos auxiliado por computador (CAPP)	16
2.3.1	Histórico	16
2.3.2	A atividade de planejamento de processos	18
2.3.3	A tecnologia do sistema CAPP	19
2.3.4	Abordagens do CAPP	22
2.3.4.1	Abordagem variante	22
2.3.4.2	A abordagem generativa	23
2.3.4.3	Abordagem semi-generativa	24
2.3.5	Técnicas de implementação de sistemas CAPP	25
2.3.5.1	Tecnologia de Grupo (TG)	25
2.3.5.2	Técnicas de inteligência artificial e sistemas especialistas	26
2.3.5.3	Ferramentas para desenvolvimento do CAPP	26
2.3.6	Interface e papel do CAPP no CIM	27
2.3.6.1	Aplicação de técnicas de inteligência artificial ao CAPP	28
2.3.6.2	Integração e tecnologia de base de dados	28
2.3.6.3	PCs, workstations e migração de software	29
2.3.7	Tendências futuras dos sistemas CAPP	30
2.4	Manufatura auxiliada por computador (CAM)	31
2.4.1	Sistemas de planejamento da produção	31
2.4.2	Sistemas Just-In-Time (JIT)	31
2.4.3	Planejamento e controle da produção tradicional	32
2.4.4	Sistema integrado por computador para gerenciamento da produção	36
2.4.5	Administração de Materiais	38
2.4.6	O planejamento das necessidades de materiais (MRP)	40
3	Desenvolvimento da Interface CAD/SISP	42
3.1	Introdução	42
3.2	O programa AutoCAD	47
3.3	A linguagem AutoLISP	49
3.4	O Microsoft Excel	51
3.5	A interface CAD/SISP	51
4	Conclusões e sugestões para trabalhos futuros	61
	Apêndice 1: Interface CAD/SISP escrita em AutoLISP	62
	Apêndice 2: MRP referente aos componentes e materiais do redutor	65
	Referências bibliográficas	72
	Bibliografia consultada	76

## Relação de figuras

Figura 1 - Volume de vendas através das fases do ciclo de vida	06
Figura 2 - Ciclo de atividades em um sistema tradicional de Planejamento e Controle da Produção	37
Figura 3 - Ciclo de atividades em um sistema de gerenciamento da produção integrado por computadores	39
Figura 4 - Arquivo DEMA.DWG exibido no AutoCAD, representando um desenho de conjunto redutor	43
Figura 5 - Lista de materiais	44
Figura 6 - Plano mestre da produção	45
Figura 7 - Árvore do produto	46
Figura 8 - Relação entre o Projeto Auxiliado por Computador e a Administração de Materiais através da interface CADSISP	52
Figura 9 - Fluxograma representando o ciclo entre o projeto e a obtenção de resultados de planejamento	53
Figura 10 - “Carregamento” da interface CADSISP	54
Figura 11 - Execução da interface CADSISP	54
Figura 12 - Atribuição de nome para o arquivo a ser criado	55
Figura 13 - Seleção das informações que serão copiadas para o arquivo	55
Figura 14 - Importação de arquivo através do Excel	56
Figura 15 - Definição da origem e do “lead time” para os materiais e componentes	56
Figura 16 - Classificação dos materiais e componentes quanto à origem	57
Figura 17 - Classificação dos materiais e componentes quanto à origem	58

## **Relação de tabelas**

Tabelas referentes ao relatório MRP para os materiais e componentes sob números 1; 3; 4; 5; 6; 7; 9 e 13	66
Tabelas referentes ao relatório MRP para os materiais e componentes sob números 10; 11; 12 e 34	67
Tabelas referentes ao relatório MRP para os materiais e componentes sob números 2; 14; 15; 16; 17; 18; 19 e 20	68
Tabelas referentes ao relatório MRP para os materiais e componentes sob números 25 e 26	69
Tabelas referentes ao relatório MRP para os materiais e componentes sob números 8; 21; 22; 23; 24; 27; 28 e 29	70
Tabelas referentes ao relatório MRP para os materiais e componentes sob números 30; 31; 32 e 33	71

## **Nomenclatura (siglas)**

2D	Bidimensional
3D	Tridimensional
ASCII	American Standard Code for Interchange Information
AutoCAD	Programa CAD (® Autodesk)
AutoLISP	Subset da linguagem LISP (somente para AutoCAD)
BASIC	Linguagem de Programação
C	Linguagem de Programação
CAD	Computer Aided Design
CADSISP	Interface entre o CAD e a Administração de Materiais
CAM	Computer Aided Manufacturing
CAM-I	Computer Aided Manufacturing - International
CAPP	Computer Aided Process Planning
CAs	Técnicas Auxiliadas por Computador
CAx	Técnicas Auxiliadas por Computador
CIM	Computer Integrated Manufacturing
CN	Controle Numérico
COPICS	Communication Oriented Production Information and Control System (® IBM)
dBASE	Programa para base de dados (® Ashton-Tate)
DBMS	Sistema de Gerenciamento de Base de Dados
Excel	Programa para planilha eletrônica (® Microsoft)
FMS	Flexible Manufacturing System
Fortran	Linguagem de Programação
IA	Inteligência Artificial
IGES	Initial Graphics Exchange Specification

ISO	International Standard Organization
JIT	Just-In-Time
LAN	Local Area Network
LISP	Linguagem de programação
Lotus	Programa para planilha eletrônica (® Lotus)
MAPIC II	Manufacturing Accounting and Production Information Control System version 2 (® IBM)
MPS	Master Production Scheduling
MRP	Material Requirements Planning
MRP II	Manufacturing Resource Planning
Mto	Make-To-Order
Mts	Make-To-Stock
OIR	Organization of Industrial Research
Pascal	Linguagem de Programação
PC	Personal Computer
PCP	Planejamento e Controle da Produção
PDES	Product Data Exchange Specification
PP	Planejamento do Processo
SDB	Base de Dados Simples
SE	Sistemas Especialistas
SET	Standard for Exchange and Transfer
TG	Tecnologia de Grupo
TQC	Total Quality Control

## Resumo

GIMENEZ, Claudemir, Desenvolvimento de Interface entre o Projeto Auxiliado por Computador e a Administração de Materiais, Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 1996. 79 p. Tese (Mestrado).

Cabe à área de projetos da empresa a definição dos produtos que serão concebidos para atender às necessidades do mercado. Existe atualmente uma ampla gama de programas para a área de projeto. Raramente esses programas permitem o intercâmbio (com outros departamentos) de informações sem restrições. Neste trabalho apresenta-se o desenvolvimento de uma interface, com o objetivo de extrair informações referentes aos materiais e componentes de um projeto, desenvolvido no ambiente CAD. Paralelo a esse trabalho, planeja-se os materiais que constituem o projeto, com o auxílio de uma planilha MRP.

### Palavras Chave

- Sistema CAD/CAM;
- Interfaces (Computador);
- Administração de Material;
- Processos de Fabricação;
- Sistemas de Fabricação Integrada.

## Abstract

GIMENEZ, Claudemir, Desenvolvimento de Interface entre o Projeto Auxiliado por Computador e a Administração de Materiais, Campinas, School of Mechanical Engineering, State University of Campinas, 1996. 79 p. Masters' Thesis.

The design function attempts to ensure that products meet market needs. Many programs have been developed to assist in the design function. Rarely do these programs permit the exchange of information with other departments without restrictions. This work outlines the development of an interface to extract information (such as the bills for materials), in a CAD (Computer Aided Design) environment. In addition, the materials are organized in MRP (Materials Requirements Planning) system.

### Key Words

- CAD/CAM System;
- Interfaces (Computer);
- Materials Management;
- Process Manufacturing;
- CIM Systems.



## Capítulo 1

### Introdução

À partir do início da década de 90 constata-se que as empresas brasileiras passaram a disputar o mercado com concorrentes internacionais. Essa disputa ocorre tanto a nível do mercado consumidor interno, quanto externo. A nível de mercado interno os concorrentes passaram a oferecer seus produtos no Brasil à partir de 1990, em virtude do início da abertura econômica. A nível de mercado externo as empresas brasileiras passaram a oferecer seus produtos no exterior, com o objetivo de ampliar o volume de vendas. Os produtos oferecidos pelas empresas brasileiras, tanto no mercado interno, quanto no externo, apresentam dificuldades para competirem com os produtos estrangeiros. Visando ampliar o poder de competitividade dos produtos nacionais é necessário que as empresas brasileiras invistam em novas tecnologias, equipamentos, processos, programas de gestão da qualidade, além de treinamento e educação da mão-de-obra.

A automação das empresas permite a obtenção de produtos com maior qualidade, a preços reduzidos. Neste sentido, apresentam-se as tecnologias CAD (Projeto Auxiliado por Computador), CAM (Manufatura Auxiliada por Computador) e redes de computadores. O desenvolvimento do produto no ambiente CAD deve considerar todas as variáveis de manufatura (ambiente CAM). Dessa forma, são antecipados possíveis problemas que surgiriam somente com o início da especificação das condições de produção. Outro aspecto corresponde a maximização de oportunidades para a obtenção de uma produção otimizada, rompendo paradigmas em que as tarefas eram realizadas seqüencialmente. Nesta concepção, as tarefas são realizadas de forma paralela.

Com o advento da informática, diversas atividades das empresas passaram a usufruir de seus benefícios. O desenvolvimento histórico dos sistemas auxiliados por computador concentrou-se inicialmente na programação CN e no CAD. Posteriormente, desenvolveram-se sistemas CAM e CAPP. Devido a problemas relacionados ao desenvolvimento por fornecedores de procedências diversificadas, os sistemas CAD apresentam dificuldades na troca de informações com outros sistemas CAD, CAPP ou CAM.

Paralelo ao desenvolvimento da informática, ocorrem mudanças no mercado. Essas mudanças traduzem-se na exigência de maior diversificação dos produtos oferecidos, além da maior frequência com que se fazem novos lançamentos. Estes fatos estimulam a concorrência entre as empresas. A qualidade, preço e cumprimento dos prazos de entrega tornaram-se pré-requisitos obrigatórios para a sobrevivência das empresas.

O trabalho apresentado aqui visa a obtenção da integração entre os sistemas CAD e CAM, além de minimizar a entrada manual de dados. Dessa forma, o processo de entrada de dados torna-se mais rápido, além de reduzir a ocorrência de erros associados com sistemas manuais. Este trabalho envolve tecnologias de projeto (CAD) e de manufatura (CAM), imprescindíveis para as empresas enfrentarem a intensa concorrência dos fabricantes estrangeiros. Neste sentido, apresenta-se o desenvolvimento de uma interface entre o CAD e o CAM. A interface - desenvolvida em AutoLISP, dentro do ambiente AutoCAD - têm a função de permitir a extração das informações referentes aos materiais e componentes de projetos. Os materiais e componentes podem ser classificados em padronizados, adquiridos sob encomenda ou produzidos internamente pela empresa. A empresa pode adotar diferentes estratégias nesta classificação, como forma de tornar-se competitiva. Em adição, administram-se os materiais através de um Sistema MRP - desenvolvido em Excel. Desta forma, antecipam-se problemas e maximizam-se oportunidades em relação aos produtos oferecidos no mercado, permitindo a empresa destacar-se em relação aos concorrentes. Um produto é referido como sendo competitivo quando atende plenamente as necessidades dos clientes, tendo desempenho superior quando comparado com o produto oferecido pelos concorrentes.

Para a realização do levantamento bibliográfico que compõe este trabalho utilizou-se as seguintes fontes e base de dados:

- i. CD-ROM "Compendex-Plus" (base de dados "Engineering Index"), dos anos 1991 a 1995;
- ii. CD-ROM "UNIBIBLI" (base de dados contendo o acervo - livros, teses e publicações - da UNESP, UNICAMP e USP);
- iii. CD-ROM "IBICT" (base de dados contendo teses e dissertações em Ciência e Tecnologia (C&T) defendidas no Brasil);
- iv. "Engineering Index", dos anos 1985 a 1990;
- v. Livros e publicações citados em "papers".

Na época da revisão bibliográfica não encontrou-se nenhuma referência com a abordagem prevista nesta dissertação, motivo pelo qual encorajou-nos ao trabalho "Desenvolvimento de Interface entre o Projeto Auxiliado por Computador e a Administração de Materiais".

## Capítulo 2

### Revisão bibliográfica

#### 2.1 A transformação do mercado

O mercado consumidor está em contínua evolução, exigindo novos produtos. Esta exigência obriga as empresas a atualizarem o “mix” de produtos oferecidos ao mercado. Dessa forma, cresce a concorrência entre as empresas, no sentido de disputarem o mercado, para oferecerem seus produtos.

##### 2.1.1 A diversificação do mercado

TOFLER (1980) afirma que a sociedade de consumo em massa, criada pela Revolução Industrial, está se transformando cada vez mais numa sociedade diversificada. O mercado de consumo se estilhaçou no começo da década de 70 em grupos sempre multiplicantes, em constante mutação, de mini-mercados que exigem novos produtos em uma contínua expansão de opções, modelos, tipos, tamanhos, cores e hábitos.

NAISBITT (1994) abordou este tema, dizendo que as revoluções sociais do final da década de 60 e as mudanças menores da década de 70, difundiram os valores da década de 60 por toda a sociedade tradicional, traçando o caminho para a década de 80, uma década de diversidade sem precedentes. No Brasil durante a década de 80, adotou-se uma política protecionista visando o desenvolvimento do parque industrial, particularmente o setor de informática, identificada pela Reserva de Mercado. Os resultados dessa política foram pouco benéficos para a população e o país, exceto para alguns empresários.

O efeito das mudanças vai transformar o mercado consumidor de um mercado de consumo em massa para micromercados (KOTLER, 1993), diferenciados por

idade, sexo, localização geográfica, estilo de vida, origem, etnia, educação, etc.

Neste sentido, as empresas, procurando vencer seus competidores à força, adotam políticas extremamente competitivas de forma a invadirem o mercado com milhares de novos produtos e extensões de linha (RAPP e COLLINS, 1988). Dessa forma, os fabricantes concorrem em um mercado no qual as pessoas são muito mais individualistas e tem uma ampla variedade de escolhas. À medida que avançamos na segunda metade da década de 80, esta tendência se intensifica.

Os fabricantes estão num ciclo vicioso, pois para manterem a vanguarda, é necessário fornecerem novos produtos, em um fluxo que provoca a diminuição de seus ciclos de vida, estabelecendo uma demanda para mais novos produtos.

O conceito de ciclo de vida do produto corresponde ao período durante o qual determinado produto é oferecido ao mercado. Este conceito compreende quatro fases:

- i. Embrionário;
- ii. Amadurecimento;
- iii. Maturação;
- iv. Envelhecimento.

Na figura a seguir, tem-se a representação do ciclo de vida.

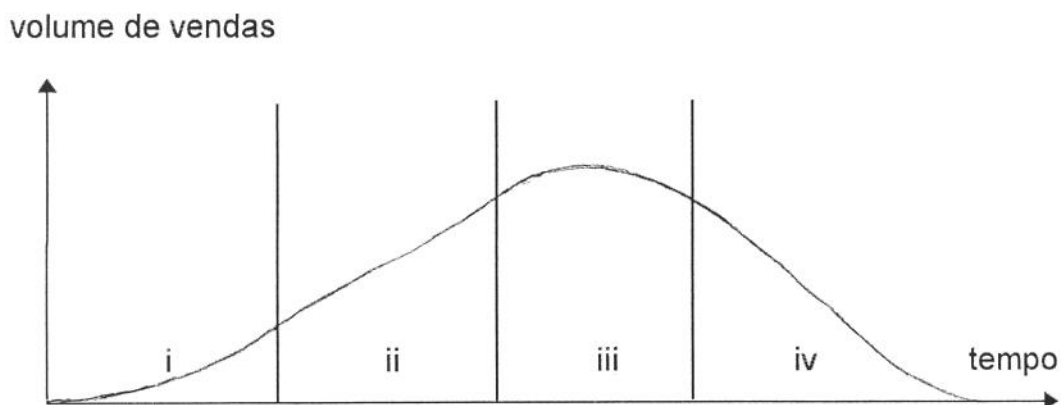


Figura 1 - Volume de vendas através das fases do ciclo de vida (HAX e MAJLUF, 1984).

Durante a fase embrionária, tem-se um pequeno volume de vendas. Na fase de amadurecimento, as vendas apresentam um sensível incremento. Durante o período de maturação, as vendas apresentam bom desempenho. Posteriormente, na fase de envelhecimento, as vendas deterioram-se até que o produto deixe de ser oferecido, ou haja um esforço da empresa visando o reposicionamento do produto no mercado.

### 2.1.2 Competitividade industrial

ZEMKE e SCHAAF (1991) afirmam que existe um consenso entre empresários de que a manutenção de uma posição de destaque nas indústrias manufatureiras é crítica para preservar a vitalidade da economia de um país.

Os fabricantes, há anos alvos das críticas dos peritos da indústria, devido ao fato de deixarem cair a qualidade dos produtos e perderem participação no mercado, estão reagindo. Forçados pela concorrência, reduziram sua força de trabalho, fecharam fábricas obsoletas e investiram em equipamentos, treinamento da mão-de-obra e novas tecnologias como o CAD - Projeto Auxiliado por Computador (vide item 2.2) ou a Tecnologia de Grupo (vide item 2.3.5.1).

O maior gerador de mudanças nas empresas que atuam na indústria metal-mecânica é a proliferação de tecnologias e estratégias avançadas, tais como Controle Total da Qualidade (TQC), Normas ISO 9000, Projeto Auxiliado por Computador (CAD), Engenharia Simultânea (vide item 2.2.4) e a ênfase na

eliminação de custos que não adicionam valor para alcançar vantagens competitivas. Dados "on-line" ajudam muito na reengenharia, pois a tecnologia da informação age como um capacitador essencial. Neste sentido, uma maior ligação entre fornecedores e compradores, com o acesso do fornecedor à programação da produção permite que a empresa seja mais ágil no atendimento aos pedidos dos clientes.

### **2.1.3 O projeto de um produto industrial**

Projetar um produto significa partir de uma idéia técnica, atual e respeitadora do elenco de valores tecnológicos aceitos pelos clientes, com boa dose de inovação, à qual se vai agregando outros insumos, tangíveis e intangíveis que façam com que o bem criado possa gerar tal elenco de benefícios que satisfaça as aspirações dos clientes, dando origem a produtos finais de padrão elevado, a preços competitivos.

Podemos produzir um bem muito aquém do que seria o seu estado-da-arte, desde que aceito pelo mercado, mas é preciso estar consciente do quanto podemos estar defasados tecnologicamente. A responsabilidade de situar a companhia neste sentido cabe às áreas de Engenharia, Produção e Marketing.

Os responsáveis pela engenharia constituem o repositório tecnológico da empresa, aprendendo tudo sobre o assunto sistematicamente e informando os demais executivos, fomentando um ambiente de curiosidade tecnológica que possa induzir todos à descoberta e à escolha do melhor caminho para o novo projeto dos velhos produtos e, principalmente, dos novos produtos.

### **2.1.4 O conceito de adequação**

Não se pode pensar em projeto, sem se considerar o que seria um produto adequado. A falta de concordância a respeito do que vem a ser adequado a um mercado tem feito com que muitas empresas se vejam envolvidas com certos produtos fora de sintonia, em relação à realidade do país, demandando elevados recursos para permanecerem vivos.



A falta de planejamento tem conduzido a adoção de soluções complexas, levando sofisticadas máquinas de controle numérico a operarem de forma inadequada sem explorar a plenitude dos equipamentos, além de instalar caríssimos equipamentos que ainda devem ser pagos e ninguém sabe fazer funcionar, acabando por inviabilizar, a médio prazo, a própria empresa. Outro exemplo de desperdício corresponde a utilização de equipamentos CAD somente como opção da tradicional prancheta de desenho. Muitas empresas não desfrutam todos os benefícios relacionados com a utilização dos sistemas CAD. Dessa forma, torna-se necessário que a empresa elabore um plano para a aquisição e implantação de equipamentos que atendam às suas necessidades.

Deve-se estimular os funcionários para que descubram saídas criativas que diminuam sua dependência de técnicas exclusivas e que somente alguns dominam, cobrando por isso.

### 2.1.5 Os ciclos tecnológicos

Historicamente ocorreram ciclos tecnológicos, caracterizados por descontinuidades tecnológicas. O final do século 19 presenciou a mudança da economia agrícola para a industrial. Os economistas acreditam que, nos últimos 250 anos, ocorreram ciclos de inovação a intervalos de aproximadamente 50 anos. Nos primeiros anos acontece um crescimento de novo potencial tecnológico. Segue-se um período durante o qual as inovações entram em cena, havendo então um longo período de comercialização.

O primeiro ciclo ocorreu entre 1790 e 1840 e baseou-se nas novas tecnologias da indústria têxtil, que exploravam o potencial do carvão e do vapor como fontes de energia. O segundo ciclo ocorreu entre 1840 e 1890 e apoiou-se no desenvolvimento do transporte ferroviário e na mecanização da produção. Um terceiro ciclo (1890 a 1940) baseou-se na energia elétrica, avanços na química e no motor de combustão interna. O quarto ciclo (1940 a aproximadamente 2000) baseia-se na eletrônica. Porém o ritmo das inovações não diminuiu, como ocorreu nos ciclos anteriores. O quinto ciclo poderá corresponder a avanços na área de biotecnologia, computação, física, matemática e novos materiais (RAPP e COLLINS, 1988).



### 2.1.6 Tempo e tecnologia

Há grande dificuldade para se prever o progresso tecnológico com base em sua evolução histórica, pois as empresas podem variar o volume de investimentos para acelerar, ou não, o ritmo de desenvolvimento da tecnologia.

A necessidade de reduzir o tempo de desenvolvimento depende do seu custo e dos lucros que deixam de ser realizados, caso haja atrasos. Frequentemente um ou ambos os fatores podem ser substanciais. O custo de entrar atrasado no mercado pode ultrapassar os aumentos de custos para acelerar o desenvolvimento.

Para reduzir os prazos e custos, além de elevar a qualidade, pode-se fazer uso de fornecedores externos. As melhores empresas desenvolvem parcerias com seus clientes e fornecedores. Alguns procedimentos burocráticos podem ser eliminados para acelerar o desenvolvimento, além do uso de computadores e sistemas de comunicações. Dessa forma, a empresa pode se posicionar frente aos concorrentes, ampliando sua participação no mercado e seu faturamento.

## 2.2 O projeto auxiliado por computador (CAD)

O CAD pode ser definido como o uso de sistemas computacionais para auxiliar na criação, modificação, análise, ou otimização de um projeto. Os sistemas computacionais consistem de "hardware" e "software" para realizar as funções de projeto requeridas por uma empresa. O "hardware" do CAD tipicamente inclui o computador, um ou mais monitores, teclado, etc. O "software" do CAD consiste de programas para implementar o projeto. Exemplos desses programas incluem a análise de fadiga de componentes, a análise da resposta dinâmica de mecanismos, cálculos de transferência de calor, e programação CN.

### 2.2.1 Sistemas CAD

A qualidade e o custo final de um produto são determinados primariamente pelas decisões do projeto e pelo planejamento da execução.

Um pequeno, mas mensurável, resultado que ocorre antecipadamente na fase de desenho é mais valioso na prevenção de perdas, do que na obtenção de grandes resultados que ocorram durante a execução.

Usando um sistema CAD e uma rede local de computadores, todos os envolvidos podem verificar um documento simultaneamente (Engenharia Simultânea), além de eliminar o tempo de transporte do desenho entre os diversos departamentos.

Considera-se que mais de 90% do custo de um produto seja determinado na fase de projeto, sendo necessário, portanto, capitalizar todas as oportunidades e eliminar desperdícios (BERLINER e BRIMSON, 1992).

Algumas razões para a implementação de um sistema CAD são (GROOVER e ZIMMERS, 1984):

- i. Melhorar a produtividade do projetista. Isto é obtido por auxiliar o projetista a visualizar o produto e seus componentes; e pela redução do tempo requerido na síntese, análise e documentação do projeto. Esta melhoria de produtividade é traduzida não somente em menor custo de projeto, mas também em menor tempo para finalização do projeto;

ii. Melhorar a qualidade do projeto. O sistema CAD permite que um número maior de alternativas de projeto possam ser investigadas. Os erros de projeto também são reduzidos;

iii. Melhorar a comunicação. O uso de um sistema CAD oferece maior padronização nos desenhos de engenharia, melhor documentação do projeto e menos erros de desenho;

iv. Criar uma base-de-dados para a manufatura. No processo de criação da documentação para o projeto do produto, grande parte da base-de-dados requerida para manufaturar o produto também é criada. Como exemplo, temos a geometria e dimensões do produto e de seus componentes, as especificações de materiais para os componentes e a lista de materiais.

## 2.2.2 Formatos para comunicação

Não existe um elo direto estabelecido para transferir os dados geométricos diretamente do CAD para o CAPP (Planejamento de Processos Auxiliado por Computador). Um dos principais problemas nesta transferência de dados é a compatibilidade dos sistemas atuais em consideração aos dados CAD. Todo sistema tem um modo próprio para representar os dados geométricos de uma peça na base de dados CAD. Este problema foi reconhecido há algum tempo e como resultado têm sido desenvolvidos formatos padronizados que fornecem um modo viável de comunicação entre os diferentes sistemas CAD. Vários formatos foram propostos, sendo mais conhecidos o IGES, o SET e o VDA-FS. Desses, o IGES é o padrão predominante entre os usuários de CAD/CAM. No início da década a ISO (International Standard Organization) propôs a aplicação do padrão PDES/STEP na integração entre o CAD e o CAPP (SSEMAKULA, 1990).

### 2.2.2.1 O padrão IGES

O CAPP pode ser interfaceado com o módulo CAD através do uso do IGES (Initial Graphics Exchange Specification). O IGES oferece uma ampla faixa de aplicação incluindo as áreas elétrica, civil e mecânica. O IGES oferece um formato padrão pelo qual o usuário pode transferir os dados de um sistema CAD para outro. Um formato padrão como o IGES requer o uso de dois processadores ou tradutores.

O pré-processador recebe os dados CAD no formato específico do sistema original na entrada, convertendo-os para o formato IGES. O pós-processador converte os dados do padrão IGES para o formato específico do sistema receptor, e o arquivo resultante pode ser usado para regenerar o modelo CAD original.

O IGES tem estabelecido um formato particular de estruturas ou entidades para ser usada na comunicação e representação digital dos dados de definição do produto. O dado é representado como um arquivo estruturado em um formato específico que permite o intercâmbio de definições do produto entre vários sistemas CAD. O produto é definido em termos de informação geométrica e não-geométrica. As informações geométricas correspondem aos dados do desenho, consistindo de várias entidades que formam uma "feature" ou peça. A informação não-geométrica (ou informação tecnológica) consiste de anotações, definições e dados organizacionais.

Pode-se notar que o IGES foi desenvolvido principalmente para servir ao propósito de transferir dados de desenho entre sistemas CAD.

Os atributos não-geométricos como observações, marcas, cor e texto que são associados com a entidade geométrica são apresentados na seção de diretório do arquivo IGES, sendo representados por meio de indicadores ("pointers").

### 2.2.3 Integração CAD/CAPP

Os estudos para a integração do CAD e do CAPP conduziram a três abordagens para o desenvolvimento de interfaces (LI e BEDWORTH, 1988):

i. Compartilhamento de um sistema CAD com um sistema CAPP (Planejamento de Processos Auxiliado por Computador). Neste caso, os dados CAD são armazenados em um arquivo unificado que é compartilhado pelo CAD e pelo CAPP.

ii. Sistema de interface CAD 3D (tridimensional). Esta abordagem realiza a interface do CAPP com um sistema de modelamento sólido 3D e extrai os dados para definição da peça. Devido a falta de um sistema sofisticado para reconhecimento das características 3D da peça, torna-se difícil extrair informações

de manufatura (tolerância, acabamento superficial, etc) de cada superfície e característica.

iii. Sistema de interface CAD 2D (bidimensional). Baseado na revisão de literatura, nenhuma pesquisa relaciona-se com esta abordagem. O conceito é similar ao sistema de interface CAD 3D, porém com facilidades quanto a representação dos dados geométricos da peça e acesso a informação de manufatura.

A primeira abordagem (i) é uma integração ideal porque nenhum sistema de interface de comunicação é requerido. O CAD e o CAPP compartilham o mesmo arquivo de dados, que pode ser manipulado pelo usuário. A integração baseada na segunda e terceira abordagens (ii e iii) precisam de um sistema para reconhecimento das características da peça e um arquivo de dados que possa ser compartilhado pelos sistemas CAD e CAPP.

Os atuais sistemas CAD/CAPP fornecem vários graus de integração. Uma revisão da literatura revela que os dados para definição da peça e a capacidade do sistema de reconhecimento das características da peça são os fatores chave que influenciam os graus de integração CAD/CAPP.

Embora os pesquisadores tenham demonstrado a possibilidade da interface CAD/CAPP, alguns problemas ainda persistem nos sistemas de interfaceamento disponíveis:

i. Falta a consideração dos dados tecnológicos para definição da peça requeridos pelos sistemas CAPP;

ii. Falta a habilidade para reconhecer a característica da peça;

iii. É dependente de um par específico de hardware/software CAD e CAPP. A modificação de um elemento força uma modificação no sistema de interfaceamento.

## 2.2.4 Engenharia simultânea

A criação de produtos competitivos exige métodos que permitam a aceleração de seu desenvolvimento (BALDWIN et al., 1991). A utilização conjunta desses métodos constitui o conceito de Engenharia Simultânea (ou Engenharia Concorrente). Nas metodologias típicas de projeto do produto, a seqüência de montagem é determinada após o projeto do produto e tem como único critério o equilíbrio da linha de montagem. Pelo contrário, a Engenharia Simultânea enfatiza o projeto da seqüência de montagem como parte do projeto do produto. Neste caso, muitos critérios são relevantes e podem ser combinados implicando no uso da seqüência de montagem como parte da estratégia de manufatura do produto.

O planejamento de processos tem sido considerado como o elo entre as duas considerações mais importantes na vida do produto: o projeto e a manufatura. Tipicamente, os engenheiros de projeto incluem a especificação do produto e então submetem seus resultados aos engenheiros de manufatura, que desenvolvem os planos de processos, adquirem o ferramental necessário, especificam equipamento, etc. Esta abordagem seqüencial freqüentemente resulta em um produto sub-ótimo, sob o ponto de vista de um ciclo completo, devido a muitos aspectos relacionados não serem considerados durante os estágios iniciais de desenvolvimento do produto.

Muitos sistemas CAPP tem sido desenvolvidos para suportar este modelo de desenvolvimento do produto. Esses sistemas tipicamente aceitam como entrada uma especificação detalhada do produto, fornecendo automaticamente, sob algum formato o plano de processo. O engenheiro de manufatura fornece os detalhes que o sistema CAPP é incapaz de gerar. Obviamente, uma ferramenta que não suporte as metodologias de engenharia simultânea, não permite o uso de estilos individuais de planejamento do processo. Em essência, o sistema conduz um estilo predeterminado de planejamento de processo ao engenheiro, inibindo sua criatividade.

É necessário um sistema CAPP capaz de ser utilizado através do processo de desenvolvimento do produto. Ele deve permitir que o engenheiro insira conceitos de "manufaturabilidade" e conheça detalhes de processo nos estágios iniciais.

Portanto, o sistema CAPP deve suportar o estilo individual de planejamento e a experiência dos engenheiros e não impor restrições que inibam o progresso. O engenheiro pode ser mais eficaz quando o computador amplia sua capacidade de trabalho (HERMAN, 1993). A Engenharia Simultânea permite que outras áreas, além do projeto e manufatura, como por exemplo, marketing, finanças e mesmo os fornecedores e os clientes participem da criação do produto. Dessa forma, antecipam-se problemas e maximizam-se oportunidades em relação aos produtos oferecidos ao mercado.



## 2.3 O planejamento de processos auxiliado por computador (CAPP)

Em geral, o Planejamento de Processos Auxiliado por Computador (CAPP) envolve a tradução do projeto do produto em requisitos de manufatura para cada componente, fabricado dentro da empresa (SLUGA et al, 1988).

O Planejamento do Processo tem sido definido pela Society of Manufacturing Engineers como a “determinação sistemática dos métodos pelos quais um produto é manufaturado competitiva e economicamente”. Usualmente, a tarefa de Planejamento do Processo envolve uma série de passos. A primeira consideração é a de interpretação dos dados do projeto. Neste estágio os requisitos do produto como tamanho do lote, geometria, matéria prima, tolerância dimensional, rugosidade superficial, tratamento térmico, dureza, etc são analisados. Em função da interpretação é definida a seqüência de operações. A seleção de equipamentos considera a disponibilidade, capacidade do processo (tamanho, acurácia, etc), faixa de operações da máquina, taxa de produção, etc.

### 2.3.1 Histórico

Nas últimas duas décadas houve um grande esforço no desenvolvimento de sistemas CAPP. Com o rápido desenvolvimento das técnicas auxiliadas por computador (CAx), a direção e implementação do CAPP alterou-se muito nos últimos 20 anos. A maioria dos “papers” introduz sistemas CAPP específicos. Poucos “papers”, e entre eles podemos citar STEUDEL (1984), WEILL (1982) e EVERSHEIM (1985), oferecem uma visão geral. Nos últimos 20 anos muitos sistemas CAPP foram baseados na abordagem variante, enquanto as abordagens generativa e semi-generativa - descritas adiante - estão sendo atualmente adotadas. No início da década de 80 as técnicas de Inteligência Artificial (IA) foram introduzidas na área de CAPP. Muitos sistemas CAPP foram classificados como “sistemas baseados no conhecimento” ou “sistemas especialistas”. No passado, ocorreu uma falta de planejadores de processo experientes em alguns países, como nos EUA (EMERSON e HAM, 1982), a qual forneceu impulso ao desenvolvimento dos sistemas CAPP. Muitas companhias tem adquirido sistemas CAPP para compensar a ausência de planejadores de processo experientes. Grandes companhias tem estabelecido seu próprio grupo de pesquisa para



desenvolver sistemas CAPP. Companhias de pequeno e médio porte possuem recursos apenas para os sistemas CAPP existentes que tem sido desenvolvidos por organizações de pesquisa ou universidades.

ALTING e ZHANG (1989) relatam o desenvolvimento histórico dos sistemas CAPP. Em 1965, NIEBEL apresentou a idéia de usar a velocidade e consistência do computador para auxiliar na determinação dos planos de processo. SCHENK (1966) discutiu a possibilidade do planejamento automatizado do processo em sua tese de Ph.D. na Purdue University. Apesar do reconhecimento inicial da possibilidade de extrair seqüências de processamento à partir da geometria de peças como escrito no CAD, o CAPP não foi amplamente utilizado até meados da década de 70. O primeiro sistema CAPP (sistema variante) foi desenvolvido sob a direção e financiamento do CAM-I (Computer Aided Manufacturing - International) e apresentado em 1976 (LINK). No mesmo ano o sistema MIPLAN desenvolvido pela OIR (Organization for Industrial Research) foi apresentado (HOUTZEEL, 1976). Subseqüentemente WISK (1977) apresentou um sistema generativo para seleção de processo, chamado APPAS em sua tese de Ph.D. na Purdue University. No passado, o CAPP como principal elemento na integração entre o projeto e a produção não acompanhou o desenvolvimento do CAD e do CAM. Esta situação tornou o planejamento do processo um gargalo no processo de manufatura.

O CAPP possui um papel chave no CIM (Manufatura Integrada por Computador). No ambiente CIM o planejamento, controle e processo operacional requer conhecimento especializado da área e poderoso suporte às decisões. O CIM representa uma integração de todas as atividades relevantes. De fato, não somente as funções de engenharia estão envolvidas; o desenvolvimento recente indica que funções de negócios como marketing, vendas, distribuição, finanças, administração, etc também são relevantes aos processos de planejamento e produção da manufatura. Um exemplo de integração foi o COPICS (Communication Oriented Production Information and Control System) e o MAPICS II (Manufacturing Accounting and Production Information Control System version 2), ambos da IBM, os quais integram a informação através das áreas funcionais, permitindo o gerenciamento dos recursos de mão-de-obra, instalações e materiais. As funções produtivas usam os dados do negócio para expedir o planejamento, projeção,

programação e controle. A tendência é desenvolver um sistema totalmente integrado.

As funções de planejamento e controle da manufatura eram manuais até a década de 60, quando adotou-se a tecnologia da informação no ambiente de manufatura. O COPICS influenciou significativamente o desenvolvimento futuro de sistemas de controle e planejamento da produção baseados em computadores. Um grupo dos produtos iniciais foi referido como MRP (Material Requirements Planning System).

Após anos de experiência, algumas falhas do MRP foram corrigidas, permitindo acompanhar as alterações dinâmicas no ambiente de manufatura, além de incluir mão-de-obra, máquinas, material e capital. A nova versão de MRP com mais rotinas de suporte a decisão foi desenvolvida sob um novo nome chamado MRP II (Manufacturing Resource Planning). Comparado ao MRP, o MRP II coloca mais ênfase na associação dos recursos com a demanda visando atender aos planos corporativos, que eventualmente serão convertidos em planos de produção, além de possibilitar simulações financeiras com maior critério. A capacidade de planejamento de longo prazo destaca a discrepância entre a demanda e os recursos disponíveis, permitindo que ajustes suportem um MPS (Master Production Scheduling) realístico.

### **2.3.2 A atividade de planejamento de processos**

O planejamento de processos pode ser realizado manualmente, por um processista. Neste caso, tem-se um processo complexo e demorado (EMERSON e HAM, 1982).

No contexto atual, em que são exigidos elevados padrões de qualidade e cumprimento dos prazos estabelecidos para entrega, além de baixo preço é importante a confrontação entre a decisão de comprar ou fazer internamente determinado componente. Essas decisões tem reflexo além da manufatura, envolvendo aspectos estratégicos como a agilidade da empresa em atender a diferentes solicitações do mercado e reagir rapidamente a mudanças tecnológicas, sociais, ambientais, etc.

O objetivo do CAPP é maximizar o lucro total sobre um “mix” desejado de produtos, sujeitos a restrições quanto a qualidade, prazo e custo.

Os principais elementos de um sistema CAPP são (ALTING e ZHANG, 1989; MADURAI e LIN, 1992):

- i. Interpretação dos dados do projeto do produto;
- ii. Seleção dos processos;
- iii. Seleção das máquinas-ferramenta;
- iv. Determinação de dispositivos e superfícies de referência;
- v. Sequenciamento das operações;
- vi. Seleção dos planos de inspeção;
- vii. Determinação das tolerâncias de produção;
- viii. Determinação das condições ótimas de corte;
- ix. Cálculo de todos os tempos;
- x. Geração de todos os tempos;
- xi. Seleção da forma do “blank” (trefilado, laminado, etc).

### 2.3.3 A tecnologia do sistema CAPP

O CAPP é lembrado como tendo um papel-chave no desenvolvimento do CIM porque ele forma o elo crítico entre o projeto e a manufatura (SSEMAKULA, 1990). O desenvolvimento histórico dos sistemas auxiliados por computador se concentrou principalmente no CAD, CN e outros sistemas. No passado o CAPP, no contexto de um fluxo integrado de informações, foi lembrado como o ponto fraco (ALTING e ZHANG, 1989; TÖNSHOFF e ANDERS, 1990).

O desenvolvimento de software para suportar o planejamento de diferentes processos e diferentes funções tipicamente não considera a estrutura hierárquica do planejamento do processo, planejamento de operações e programação. Dessa forma, os esforços para os sistemas desenvolvidos independentemente conduziram aos seguintes problemas (EVERSHEIM et al, 1987, 1989):

- i. O uso dos dados CAD é dificultado devido as diferentes estruturas de dados;
- ii. Armazenagem de dados redundantes;
- iii. Inconsistência nas bases de dados;
- iv. Representação insuficiente dos dados tecnológicos;
- v. \* Diferente compreensão das características no CAD, CAPP e programação CN.

Uma meta de muitos projetos de pesquisa em CAD e CAM é a integração de ambos os conceitos em um sistema CIM. Diversas abordagens de integração tem sido propostas, como (ALTING, 1986):

- i. Através da Tecnologia de Grupo;
- ii. Combinando bases de dados de projeto e manufatura;
- iii. Planejamento automatizado de processo.

Entre essas abordagens, um sistema CAPP é um dos elementos mais importantes à integração do CAD com o CAM.

Duas características primárias são requeridas para integrar um sistema CAPP com o CAD e o CAM:

- i. Habilidade para aceitar os dados de definição do componente nos sistemas CAD;
- ii. Habilidade para transmitir a informação sobre processo diretamente aos sistemas CAM.

A criação bem-sucedida da integração CAD/CAPP/CAM é desta forma dependente da interface CAD, da capacidade CAPP, e da interface CAM. Sem a integração, cada sistema individual é uma "ilha de automação", independente dos outros. O primeiro passo no processo de integração do CAD e CAPP corresponde a aceitação dos dados para definição de componentes do sistema CAD.

\* Acrescente-se também que o "estado da arte" indica a situação de padrões e protocolos para intercâmbio de dados ainda em fase de definição (vide item 2.2.2 - Formatos para comunicação).

Os dados para definição dos componentes são aqueles necessários e suficientes para descrevê-los nos sistemas de Planejamento de Processos. Os dados para definição do componente e o formato de entrada requerido por um sistema CAPP afeta a forma com que um sistema pode ser usado, bem como a capacidade do sistema. Existem duas abordagens de entrada que tem sido usadas nos sistemas CAPP:

- i. Classificação e codificação de componentes: os dados de definição são classificados e codificados com uma lógica de Tecnologia de Grupo;
- ii. Descrição do componente: os formatos com a descrição podem fornecer informação detalhada para os sistemas CAPP.

Desde que uma peça possa ser efetivamente modelada em um sistema CAD, pode-se utilizá-la como uma entrada direta para um sistema CAPP, eliminando-se o esforço humano de traduzir os dados com a definição do componente em um código ou outra forma descritiva. Um modelo CAD pode conter toda a informação sobre uma peça e assim fornecer informação para todas as atividades de planejamento de processos. Infelizmente, a linguagem do CAD é geométrica, baseada em entidades como "line", "arc", "circle", etc. Em oposição, no CAPP, características como "face", "rebaixo", "ranhura", "chanfro", etc são os termos comuns na linguagem. Os computadores não são suficientemente inteligentes para reconhecer a linguagem CAPP a partir da linguagem CAD. Um dos maiores desafios da integração CAD/CAPP é a tradução da linguagem CAD para a linguagem CAPP. Isto exige um sistema para reconhecimento das características da peça. Este é um processo sujeito a erros e muito dispendioso (MADURAI e LIN, 1992). Neste sentido, o CAD não representa satisfatoriamente as informações tecnológicas inerentes ao projeto. Ele é essencialmente geométrico\*.

A qualidade da folha (plano) de processo depende totalmente da experiência dos planejadores (EMERSON e HAM, 1982; SHUNK, 1985). Embora os planos de processo antigos possam ser usados como referências para peças similares, muitos planos são duplicados devido à falta de um sistema de recuperação da informação e de técnicas de comparação. Mesmo para uma mesma peça, é muito raro dois planejadores gerarem um plano de processo idêntico (WOLFE, 1985).

\* Provavelmente a adoção de conceitos novos, como por exemplo as "features" deverão aplinar essas dificuldades.

Os sistemas CAPP podem ser classificados segundo diversos critérios que caracterizam a área de aplicação (EVERSHEIM e SCHNEEWIND, 1993), como:

- i. Abordagem de planejamento (variante, generativa, etc);
- ii. Espectro de trabalho (rotacional, prismático, etc);
- iii. Processo (torneamento, fresamento, furação, etc);
- iv. Funções de planejamento (seleção do processo, seleção da operação, cálculo dos tempos, cálculo dos dados de corte, etc);
- v. Grau de automação (interativo, parcialmente automatizado, automatizado);
- vi. Descrição das tarefas de planejamento (interface ao CAD, etc);
- vii. Hardware (workstation, PC, etc);
- viii. Técnica de programação (Tabela de Decisão, Sistemas Especialistas, etc).

#### **2.3.4 Abordagens do CAPP**

Duas abordagens ao CAPP são tradicionalmente reconhecidas, a variante e a generativa. Entretanto, com o rápido desenvolvimento de novas técnicas, muito sistemas CAPP combinam ambas abordagens. Neste caso, tem-se a abordagem semi-generativa.

##### **2.3.4.1 Abordagem variante**

A abordagem variante ao CAPP é comparável à abordagem manual tradicional, onde um plano de processo para uma nova peça é criado pela busca, identificação e recuperação de um plano existente para uma peça similar (chamada peça mestre), no qual se fazem as modificações necessárias para a nova peça (SMITH et al., 1992). Em alguns sistemas variante as peças são agrupadas em um número de famílias de peças, caracterizadas pelas similaridades nos métodos de manufatura e relacionadas a TG. Para cada família de peças, um plano de processo padrão, o qual inclui todas as operações possíveis, é armazenado no sistema. Através de codificação e classificação, um código é construído pela resposta a um número de perguntas predefinidas. Esses códigos são freqüentemente usados para identificar a família de peças e o plano padrão



associado. O plano padrão é recuperado e editado para a nova peça. Em comparação com o planejamento de processos realizado manualmente, a abordagem variante é altamente vantajosa, pois aumenta a capacidade de gerenciar informações. Conseqüentemente, atividades e decisões complexas requerem menos tempo e trabalho. Também, os procedimentos podem ser padronizados pela incorporação do conhecimento do planejador sobre a manufatura, estruturando-os nas necessidades específicas da companhia. Porém, existem dificuldades para manter consistência nas práticas de edição, requerendo habilidade para acomodar várias combinações de geometria, tamanho, precisão, material, qualidade, etc. A grande desvantagem é que a qualidade do plano de processo depende da experiência do planejador do processo. O computador é apenas uma ferramenta para assistir as atividades do planejamento de processos manual. A abordagem variante é muito difundida. As principais razões são:

- i. O investimento é baixo e o tempo de desenvolvimento é curto;
- ii. Os custos de desenvolvimento e de hardware são baixos.

Alguns sistemas CAPP que utilizam abordagem variante são:

- i. APS, desenvolvido em 1984 por MOSENG na Alemanha;
- ii. AUTOPLAN, desenvolvido em 1985 por WOLFE nos EUA;
- iii. CAPES, desenvolvido em 1985 por EVERSHEIM e SCHULZ na Alemanha.

#### 2.3.4.2 A abordagem generativa

Na abordagem generativa os planos de processo são gerados através de lógica de decisão, fórmulas, algoritmos e dados baseados em geometria, definindo as decisões de processamento que convertam uma peça do estado bruto ao acabado (SMITH et al, 1992). As regras de manufatura e a capacidade dos equipamentos são armazenados em um sistema computacional. Utilizando-se um sistema, o plano de processo pode ser gerado sem qualquer envolvimento do processista. Para sistemas generativos, a entrada pode ser através de um texto onde o usuário responde a um número de perguntas em um diálogo (definido como entrada interativa), ou como entrada gráfica onde os dados da peça são obtidos a partir do módulo CAD (definido como entrada interfaceada). A entrada interfaceada

é necessária para permitir um sistema de manufatura integrada. A abordagem generativa é complexa e difícil de desenvolver, envolvendo, em muitos casos, técnicas de inteligência artificial. A maior vantagem da abordagem generativa é que o plano de processo é totalmente automatizado.

Alguns sistemas CAPP que utilizam abordagem generativa são:

- i. AGFPO, desenvolvido em 1986 por CHRYSSOLOURIS e WRIGHT nos EUA;
- ii. COATS, desenvolvido em 1986 por GIUSTI (et al.) na Itália;
- iii. DOPS, desenvolvido em 1987 por MAJOR e GROTTKE na Alemanha;
- iv. EXCAP, desenvolvido em 1981 por DAVIES e DARBYSHIRE no Reino Unido.

#### 2.3.4.3 Abordagem semi-generativa

EMERSON e HAM (1982) quando apresentaram um sistema generativo chamado ACAPS indicaram que “os sistemas semi-generativos servem para reduzir a interação com o usuário através de características como seqüências de operação padrão, tabelas de decisão e fórmulas matemáticas. Esses esquemas não são completamente generativos, mas podem ser extremamente úteis em termos de economia de custo e tempo no ambiente de manufatura”.

O termo abordagem “semi-generativa” pode ser definido como uma combinação da abordagem variante e generativa, onde um plano de processo é desenvolvido e modificado antes que o plano seja utilizado no ambiente real de produção. Isto significa que a lógica de decisão, formulas matemáticas e algoritmos tecnológicos, bem como o esquema de codificação - baseado em geometria - para tradução das características físicas (dimensões e tolerâncias, rugosidade superficial, etc) são construídos no sistema. Os passos de execução do sistema são os mesmos da abordagem generativa, porém o plano de processo final deve ser examinado e corrigido antes de ser implementado no ambiente de produção. A aplicação industrial dos sistemas atuais pode:

- i. Acelerar a produção automática;



- ii. Reduzir a participação dos processistas;
- iii. Garantir a qualidade do plano de processo.

Alguns sistemas CAPP que utilizam abordagem semi-generativa são:

- i. AUSPLAN, desenvolvido em 1988 por LIN e BEDWORTH nos EUA;
- ii. MICRO-GEPPS, desenvolvido em 1986 por WANG e WYSK nos EUA;
- iii. ACAPS, desenvolvido em 1982 por EMERSON e HAM nos EUA.

Existem outras abordagens como a construtiva e a inteligência artificial; as quais podem ser incluídas em uma das três categorias já mencionadas.

### **2.3.5 Técnicas de implementação de sistemas CAPP**

#### **2.3.5.1 Tecnologia de Grupo (TG)**

O conceito de Tecnologia de Grupo não foi, como usualmente afirmado, proposto por Mitrofanov, mas por Sokolowski, seu professor em Leningrado, na ex-União Soviética, que não teve sua tese de doutorado traduzida para o alemão ou o inglês, como foi o caso do livro de Mitrofanov (TUFFENTSAMMER e ARNDT, 1983). Posteriormente, MITROFANOV (1959) enunciou o conceito de componente composto como representante da família de peças. Porém, esta idéia não foi amplamente adotada até o início da década de 70. Desde que as tecnologias auxiliadas por computador (CAx) e os Sistemas Flexíveis de Manufatura (FMS) foram introduzidos na indústria manufatureira, a TG tem sido reconhecida e amplamente utilizada nos sistemas CAPP (ALLEN, 1986). Usualmente, a Tecnologia de Grupo pode ser definida como a filosofia de estudar uma grande população de itens - aparentemente diferentes - e então dividi-los em grupos que tenham características idênticas ou similares. Hoje a TG é considerada madura para a área de CAPP. A utilização típica da Tecnologia de Grupo está no conceito de família de peças, onde a codificação e classificação da peça é usada.

Em geral, cinco métodos são usados para formar uma família de peças (HAM, 1984, 1988):

- i. Manual/visual;
- ii. Nomenclatura/função;

iii. Análise do fluxo de produção;

iv. Codificação e classificação: é um passo essencial para a total exploração dos benefícios da TG. É usado na formação de famílias de peças e grupos de máquinas ou células para aplicação da Tecnologia de Grupo.

v. Programação matemática/sistemas especialistas.

As técnicas manual/visual, nomenclatura/função e análise do fluxo de produção são utilizadas quando o "mix" de produtos da empresa é pouco complexo. As empresas que utilizam milhares de componentes no chão-de-fábrica desfrutam maiores benefícios com a adoção do método de codificação e classificação. Neste caso, o método de codificação e classificação fornece a base para os sistemas CAPP que funcionam sob abordagem variante. Em adição, grande incremento de produtividade tem sido divulgado como resultado da utilização da Tecnologia de Grupo e do CAPP (HYER e WEMMERLOV, 1984) através do uso de um código TG para facilitar a geração de planos de processo. Atualmente, a técnica de programação matemática/sistemas especialistas tem sido objeto de muitas pesquisas.

#### **2.3.5.2 Técnicas de inteligência artificial e sistemas especialistas**

Os sistemas CAPP nos quais as técnicas de inteligência artificial tem sido aplicadas são chamados sistemas especialistas ou sistemas baseados no conhecimento. Um sistema especialista pode ser definido como uma ferramenta que tem a capacidade de entender problemas específicos e utiliza o conhecimento para sugerir meios alternativos de ação.

#### **2.3.5.3 Ferramentas para desenvolvimento do CAPP**

O sistema CAPP pode ser desenvolvido através do acompanhamento da tarefa de planejamento do processo à partir da peça pronta até a matéria prima, caracterizado pela abordagem "bottom-up". De forma oposta, a abordagem "top-down" desenvolve o sistema CAPP por meio do acompanhamento da tarefa de planejamento do processo à partir da matéria prima até a peça pronta.

O CAPP tem se envolvido com a maioria das linguagens populares de programação. O BASIC, como uma linguagem de programação interativa simples, foi usado amplamente no início do desenvolvimento do CAPP. Devido a falta de habilidade para decisões lógicas e do surgimento das linguagens de alto nível, o BASIC não é mais usado na área de CAPP. Enquanto o BASIC estava declinando, o FORTRAN manteve uma posição superior no CAPP. O PASCAL, assim como o 'C' são importantes devido a sua clara estrutura de controle e poderosa estrutura de dados. Desde o início dos sistemas especialistas, as linguagens de programação de inteligência artificial, como o LISP e o PROLOG estão sendo mais utilizadas.

### 2.3.6 Interface e papel do CAPP no CIM

O Planejamento de Processos Auxiliado por Computador (CAPP) tem um papel chave no sistema CIM (Manufatura Integrada por Computador). A interface do CAPP com os sistemas CAD (Projeto Auxiliado por Computador) e CAM (Manufatura Auxiliada por Computador) corresponde a uma abordagem que completa o conceito de CIM. Poucos sistemas CAPP tem realizado ou prometido interfaces para o CAD, CAM e alguns outros sistemas computadorizados. Entretanto, nos esquemas de interfaceamento, os sistemas atuais de CAPP não resolveram alguns problemas que tornam o sistema insatisfatório nas aplicações. Como exemplo, na forma mais simples o IGES (Initial Graphics Exchange Specification) pode representar um desenho de engenharia em 3D. Mas itens como dimensões podem ser representados sob varias formas, e diferentes sistemas de desenho usam tecnologias diferentes para agrupar as linhas. O maior problema está em usar o IGES para transferir dados entre sistemas diferentes. Em 3D os problemas surgem devido aos muitos métodos incompatíveis para ordenar as superfícies e curvas espaciais. Entretanto, grandes esforços tem sido despendidos nesta área. O interfaceamento do CAPP com o CAM e alguns outros sistemas computadorizados de produção (CN - Controle Numérico, Sistema MRP - Material Requirements Planning, Sistema de Simulação da Produção, etc) raramente são divulgados (ALTING e ZHANG, 1989).

### 2.3.6.1 Aplicação de técnicas de inteligência artificial ao CAPP

A manufatura inteligente tem um papel importante na indústria manufatureira. A aplicação de inteligência artificial ou sistemas especialistas ao planejamento do processo tem alguns resultados promissores, suficientes para estimular a pesquisa futura. No momento, o sucesso dos sistemas especialistas tem provado que o planejamento do processo é um campo adequado para a inteligência artificial. Porém, algumas técnicas de inteligência artificial precisam de desenvolvimento no futuro. Quando tarefas que envolvem cálculos precisam ser realizadas, os sistemas especialistas usualmente demoram mais tempo que um programa normal de computador. Esta desvantagem não requer apenas mais tempo de processamento, mas também aumenta o custo. Os sistemas especialistas atuais são orientados mais para o projetista que para o planejador do processo. Neste sentido está a razão porque apenas alguns sistemas especialistas de planejamento do processo são utilizados em ambientes de produção. Poucos duvidam que as tecnologias de inteligência artificial serão desenvolvidas para melhorar os sistemas de planejamento do processo. A ênfase será dada ao desenvolvimento de softwares amigáveis. Os sistemas poderão ser usados para auto-aprendizado e treinamento. A base comum de conhecimento tenderá a ser segmentada. E as bases comuns de conhecimento serão desenvolvidas ao nível de cada área (fábrica, célula ou estação de trabalho), na hierarquia da manufatura (ALTING e ZHANG, 1989).

### 2.3.6.2 Integração e tecnologia de base de dados

O termo integração difere do termo interfaceamento. Uma diferença entre integração e interfaceamento é que este último pode ser aplicado ao nível de tarefas. Em outras palavras, é mais demorado integrar uma tarefa quando seus sub-resultados (como especificação de projeto e manufatura ou decisões para planejamento operacional ou de processos) são decididos separadamente (HAM e LU, 1988). As abordagens atuais são dirigidas principalmente para interfacear várias atividades separadas nas fases de projeto, manufatura e planejamento. Cada fase tem sua base de dados relacional individual e correspondente sistema de gerenciamento da base de dados (DBMS). Existem grandes dificuldades para interfacear todas essas atividades separadas devido a problemas técnicos de software e hardware. Com o objetivo de realizar a produção integrada, a abordagem

ideal corresponde a integração de toda a informação envolvida na produção de um produto em uma base de dados simples (SDB), ao contrário do interfaceamento de bases-de-dados individuais. Uma base de dados simples pode incluir todos os dados de projeto, análise, desenho, planejamento do processo e CN (Controle Numérico), assim como a relação de componentes (que é ponto importante para este trabalho), informação de programação da produção, etc. No passado, apesar dos esforços dirigidos, a tecnologia de base de dados simples (SDB) ainda se encontrava nos estágios iniciais de desenvolvimento (ALTING e ZHANG, 1989).

### 2.3.6.3 PCs, workstations e migração de software

Os computadores pessoais (PCs) tem tido grande desenvolvimento na última década. A capacidade, compatibilidade e sistemas operacionais dos PCs tem melhorado muito. No momento um grande número de PCs está instalado em companhias industriais e organizações de pesquisa. Muitos "softwares" como sistemas CAD (Projeto Auxiliado por Computador), MRP (Material Requirements Planning), MRP-II (Manufacturing Resource Planning), simulação da produção e alguns Sistemas Especialistas tem sido implementados em PCs. Como um sistema individual, o CAPP é facilmente usado por companhias que já tem computadores pessoais. As "workstations" de engenharia estão cada vez mais importantes para as companhias devido a função de integração e conveniente transformação do modelamento. Apesar das redes locais (LAN - Local Área Network) para computadores pessoais permitirem a troca de arquivos, os sistemas de gerenciamento de base de dados distribuído e os sistemas operacionais tem falta de capacidade. Neste sentido, os sistemas operacionais proprietários usados para mainframes, minis e workstations oferecem capacidade multiusuário superior aos sistemas operacionais para computadores pessoais. Esta situação é mais importante para grandes companhias que demandam múltiplos terminais para usuários e elevada taxa de utilização do sistema. Com o rápido desenvolvimento dos computadores, a fronteira entre mini/micro e mini/mainframe está diminuindo. Para manter um software com ampla habilidade migratória no futuro é importante fazer estas considerações.

### 2.3.7 Tendências futuras dos sistemas CAPP

Devido ao CAPP estar num campo diverso e envolver várias tecnologias não é fácil prever as tendências futuras. Entretanto, o desenvolvimento futuro nos sistemas CAPP incluirão:

- i. Extensão a novas aplicações como planejamento de montagem;
- ii. Interação funcional com programação CN (Controle Numérico);
- iii. Uso de métodos de inteligência artificial para tomada de decisões;
- iv. Integração de dados CAD através do uso de bases compartilhadas de dados.

A extensão do CAPP a outras aplicações já é objeto das atividades de pesquisa. Em particular, o campo do planejamento da montagem tem sido negligenciado. Devido ao CIM (Manufatura Integrada por Computador) demandar alta qualidade e processamento efetivo dos dados, os resultados do planejamento da montagem também devem ser integrados.

Uma maior automação da montagem torna complexo seu planejamento, requerendo um suporte eficiente do sistema. Os sistemas de controle aprimorados vão requerer o planejamento detalhado da montagem, com resultados constantes e passíveis de reprodução. Embora os resultados de um sistema para planejamento sejam limitados, esta aplicação tem tido importante crescimento.

Uma abordagem mais promissora que as atuais (Inteligência Artificial, tabela de decisão, etc), as quais caminham para integrar sistemas separados, corresponde a integração por bases compartilhadas de dados. Isto necessita de um modelo comum de dados que contenha a informação de projeto e de manufatura. As pesquisas anteriores neste campo iniciaram pelo Planejamento do Processo e se concentraram em estender o modelo de dados a outras aplicações. Esses esforços conduziram a muitos problemas, e, portanto uma nova abordagem para integração deve ser desenvolvida.



## **2.4 Manufatura auxiliada por computador (CAM)**

O CAM pode ser definido como o uso de sistemas computacionais para planejar, gerenciar e controlar as operações de manufatura, através de interfaces com os recursos produtivos da empresa. Alguns exemplos da utilização do CAM para suportar a manufatura são: programação CN (Controle Numérico), sistemas CAPP (Planejamento de Processos Auxiliado por Computador), programação da produção, sistemas MRP (Material Requirements Planning) e controle do chão-de-fábrica.

### **2.4.1 Sistemas de planejamento da produção**

A tarefa da função de planejamento da produção usualmente envolve uma série de rotinas de trabalho. Como um elo entre o projeto e a manufatura, sua entrada corresponde a descrição da produto e sua saída corresponde a instruções de execução. Entre elas, várias subfunções devem ser levadas em consideração para diferentes requisitos ou ordens específicas a uma dada companhia.

Baseado na interpretação dos dados do projeto, os dados dos componentes, as atividades de execução e sua seqüência são determinados. Então a mão-de-obra, os componentes e a programação são calculados e documentados no plano.

Em detalhes, a operação de planejamento da produção envolve:

- i. Definição da mão-de-obra empregada;
- ii. Decomposição da atividade de execução em operações;
- iii. Definição do cronograma para execução;
- iv. Seleção de equipamentos.

### **2.4.2 Sistemas Just-In-Time (JIT)**

Segundo LUBBEN (1989), o termo JIT busca transmitir a idéia de que os três elementos principais da manufatura (recursos financeiros, equipamento e mão-de-obra) são alocados somente na quantidade necessária e no tempo requerido para o trabalho.

A produção dentro de um sistema JIT é iniciada somente quando existir demanda para o produto, iniciada com uma solicitação do cliente, caracterizando o chamado sistema puxado.

Alguns requisitos básicos para a produção JIT são:

- i. Os elevados padrões de qualidade (100%);
- ii. O tempo mínimo de preparação;
- iii. A demanda puxada e estoque mínimo no sistema;
- iv. Os contratos de longo prazo com clientes e fornecedores;
- v. O planejamento de níveis de produção;
- vi. A melhoria contínua do processo de produção.

Para cumprir um programa JIT, a empresa deve:

- i. Mudar a prioridade entre os elementos para aquisição dos materiais, passando de preço, prazo e qualidade, para qualidade, prazo e preço;
- ii. Subordinar a inspeção de recebimento, a garantia de qualidade do fornecedor e o almoxarifado diretamente à área de materiais.

A qualidade dos materiais adquiridos influencia o custo de uso desses materiais durante a fase de produção, o custo do serviço de assistência técnica, o custo da garantia e os custos ao usuário final.

#### **2.4.3 Planejamento e controle da produção tradicional**

Diversas funções podem ser identificadas na constituição do ciclo de atividades no PCP (Planejamento e Controle da Produção) tradicional. Organizacionalmente, algumas dessas funções são realizadas por departamentos distintos na empresa, enquanto outras são realizadas pelo departamento de controle da produção (GROOVER e ZIMMERS, 1984):

- i. Previsão. A função de previsões está relacionada com a projeção das vendas futuras. A previsão de vendas é freqüentemente classificada em função do



horizonte de tempo sobre o qual se realizam as estimativas. As previsões de longo prazo compreendem um período de 5 anos ou mais e são usadas para guiar decisões quanto a construção de fábricas e aquisição de equipamentos. As previsões de médio prazo compreendem um período entre 1 a 2 anos e podem ser utilizadas para planejar a compra de materiais e componentes com longo "lead-time". As previsões de curto prazo compreendem um período entre 3 a 6 meses e permitem o planejamento de contratações e compras.

ii. Planejamento da Produção. Algumas vezes também é chamado de planejamento agregado da produção e seu objetivo é estabelecer níveis gerais de produção para grupos de produtos no próximo ano. Ele é baseado na previsão de vendas e é utilizado para controlar inventários, estabilizar a produção sobre o horizonte de planejamento e inserir novos produtos na linha oferecida pela empresa. O planejamento agregado da produção é uma função que precede o programa mestre da produção (MPS - Master Production Schedule).

iii. Planejamento do processo. Envolve a determinação da seqüência das operações de manufatura requeridas para produzir um certo produto e seus componentes. O planejamento do processo tradicionalmente tem sido realizado manualmente por engenheiros de manufatura ou por processistas. O documento resultante é chamado roteiro de fabricação e contém uma lista das operações e máquinas-ferramenta através das quais a peça ou o produto deve passar.

iv. Estimativa de custos. Com o propósito de determinar os preços, prever os custos e preparar a programação, a empresa estima os "lead times" de manufatura e os custos de produção para seus produtos. O "lead time" de manufatura corresponde ao tempo total requerido para processar uma peça através da fábrica. Os custos de produção correspondem à soma dos custos dos materiais, trabalho e custos indiretos para produzir a peça. Essas estimativas de custos e "lead times" são baseadas nos dados contidos no roteiro de fabricação, arquivos de compras e dados contábeis.

v. Programação Mestre. O plano agregado de produção pode ser traduzido em um plano mestre que especifique quantas unidades de cada produto (conjunto) serão produzidas e em qual data serão entregues. Feito isto, o plano mestre deve

ser convertido em ordens de compra para matéria-prima, pedidos para componentes de fornecedores externos, e programação de produção para as peças feitas na empresa. Esses eventos devem ser dispostos no tempo e coordenados para permitir a entrega do produto final conforme o programa mestre. Os períodos de programação no plano mestre da produção (MPS) tipicamente são meses, semanas ou dias. O MPS deve ser consistente com a capacidade produtiva da empresa. Ele não pode solicitar produtos além do que a fábrica é capaz de produzir com os recursos atuais.

vi. Planejamento das necessidades de materiais. Baseado no MPS, os componentes e submontagens de cada produto devem ser planejados. As matérias primas para fazer cada componente devem ser pedidas. As peças compradas devem ser pedidas. Todos esses itens devem ser planejados para que os componentes e montagens estejam disponíveis quando necessário. Essa tarefa é chamada de planejamento das necessidades de materiais (MRP - Material Requirements Planning). O termo MRP tem se tornado de uso comum desde a introdução dos procedimentos computadorizados para realizar o processamento massivo de dados requeridos para cumprir essa função. No passado, essa função era realizada manualmente.

vii. Compras. A empresa escolherá alguns componentes para serem fabricados em suas plantas. Outros componentes serão comprados. A decisão entre essas alternativas é conhecida pela expressão "make-or-buy decision", ou seja decisão entre fazer ou comprar. Para os componentes produzidos internamente, a matéria-prima deve ser adquirida. Os pedidos para a compra de matéria-prima e de componentes é função do departamento de compras. Os materiais devem ser pedidos e a recepção desses itens deve ser programada conforme os períodos definidos durante o procedimento de planejamento das necessidades de materiais.

viii. Programação e carga de máquina. A programação da produção também está baseada na atividade de planejamento das necessidades de materiais. Esta envolve a atribuição de datas iniciais e finais para os componentes a serem processados através da fábrica. Muitos fatores tornam a programação complexa. Primeiro, o número de peças e pedidos a serem programados pode ser da ordem de

milhares. Segundo, cada peça tem seu roteiro de fabricação a ser cumprido; podendo percorrer diversas máquinas separadas. Terceiro, o número de máquinas na empresa é limitado, e as máquinas são diferentes; pois realizam diferentes operações e tem diferentes características e capacidades.

O número total de tarefas a serem processadas através da fábrica tipicamente excede o número de máquinas por uma margem substancial. Por esse motivo, cada máquina, ou centro de trabalho, terá uma fila de tarefas aguardando o processamento. A alocação de tarefas aos centros de trabalho é conhecida como carregamento de máquinas. A alocação de tarefas a uma fábrica inteira é chamada carregamento de fábrica.

ix. Despacho. Com base na programação da produção, o despacho é realizado através dos pedidos individuais aos operadores das máquinas. Isto envolve o fornecimento do pedido, do roteiro, do desenho da peça e instruções de trabalho.

x. Programação da produção. A tarefa de programação compara a posição atual do pedido em relação ao planejamento. Para os pedidos que não cumprem o planejamento, o programador recomenda a ação corretiva. Esta pode envolver o rearranjo da seqüência na qual as ordens são feitas em uma certa máquina, a preparação de uma máquina para outro pedido, ou a condução das peças para o próximo departamento. São muitos os motivos para os erros na produção: peças em processo estão no departamento anterior, quebra de máquina, ferramental não disponível, problemas de qualidade, etc.

xi. Controle da qualidade. O departamento de controle da qualidade é responsável por garantir que a qualidade do produto e de seus componentes atenda aos padrões especificados pelo projetista. Esta função deve ser realizada em vários pontos através do ciclo de manufatura. Os materiais e peças comprados dos fornecedores externos devem ser inspecionados quando eles são recebidos. As peças fabricadas internamente devem ser inspecionadas durante o processamento. A inspeção final é realizada para testar a qualidade funcional.

xii. Controle de inventário e embarque. O passo final no ciclo de controle da produção envolve o embarque do produto diretamente ao cliente ou sua

armazenagem no estoque. O objetivo do controle de inventário é garantir que os produtos estejam disponíveis para satisfazer a demanda. O objetivo de investimento financeiro em inventário corresponde a mantê-lo em um nível mínimo. O controle de inventário atua junto ao controle de produção desde que haja coordenação entre os níveis de vendas, produção e inventário. O controle de inventário freqüentemente é incluído junto ao departamento de controle da produção.

A função de controle de inventário é aplicada não somente aos produtos finais da companhia. Ela também é aplicada às matérias-primas, componentes comprados e material em processo ("work-in-process material"). Em cada caso, o planejamento e o controle são necessários para obter um equilíbrio entre a falta de inventário e seu excesso.

A figura 2 apresenta as relações entre as funções de PCP assim como outras funções da empresa, clientes e fornecedores externos. No diagrama, as funções de PCP (Planejamento e Controle da Produção) são destacadas em negrito.

#### **2.4.4 Sistema integrado por computador para gerenciamento da produção**

Existem muitos fatores responsáveis, nas últimas décadas, pela evolução na abordagem efetiva aos problemas de PCP (Planejamento e Controle da Produção). O mais óbvio desses fatores correspondeu ao desenvolvimento do computador.

Em adição ao computador, existiram outros fatores que foram igualmente importantes. Um desses foi o aumento no nível de profissionalismo no campo do PCP, requerendo conhecimento especializado e treinamento acadêmico. Sistemas, metodologias e toda uma terminologia foi desenvolvida para esse campo profissional.

Um outro fator que atua como um direcionador de esforços no desenvolvimento de um melhor planejamento da produção corresponde ao aumento da competição externa.

Finalmente, existe um aumento na complexidade dos produtos manufaturados e dos mercados que compram esses produtos. O número de diferentes produtos

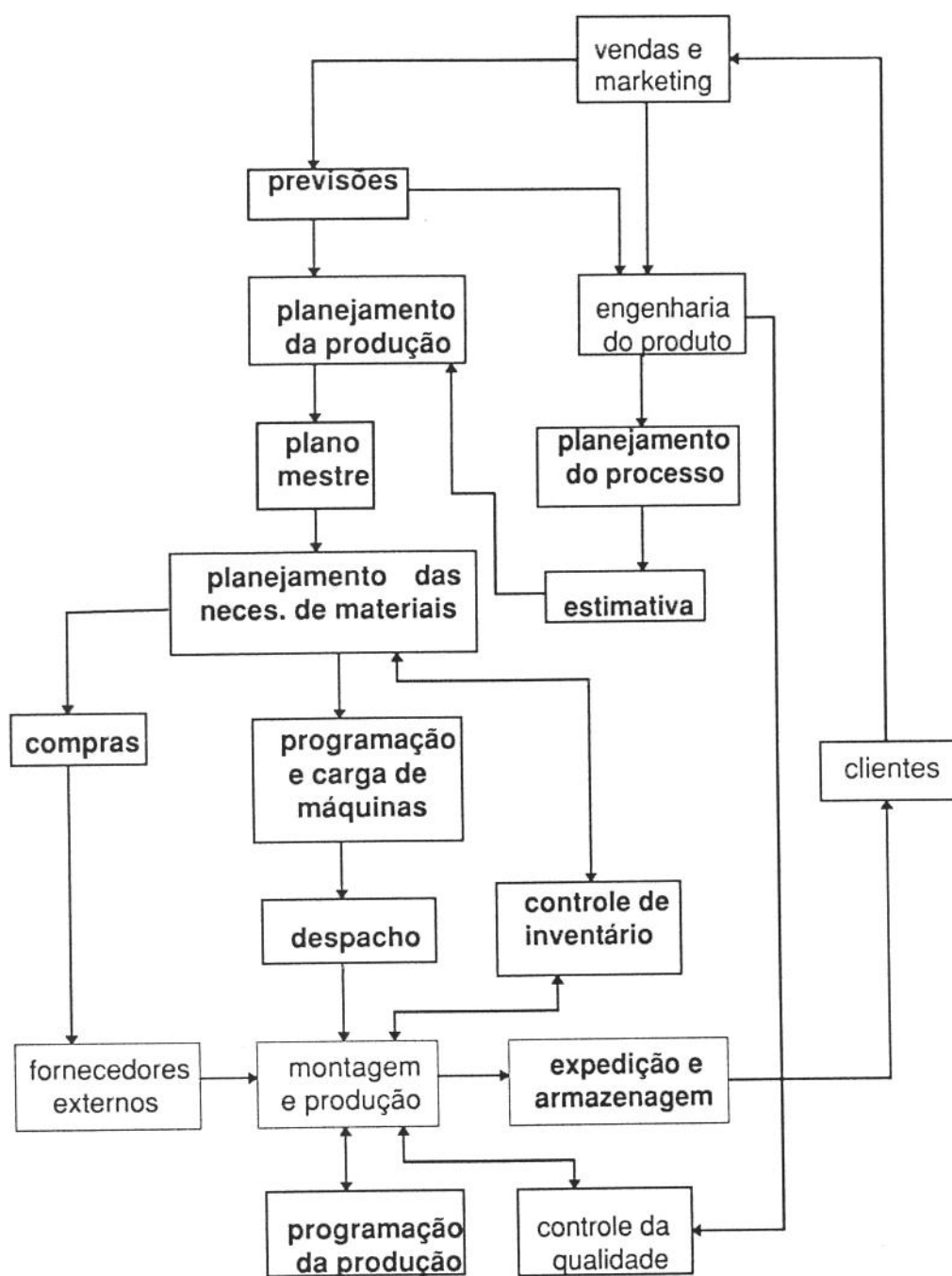


Figura 2 - Ciclo de atividades em um sistema tradicional de planejamento e controle da produção (ZIMMERS e GROOVER, 1984, p.328).

tem proliferado, as tolerâncias e especificações são mais rígidas, e os clientes mais críticos em suas necessidades e expectativas.

A figura 3 apresenta um diagrama em blocos ilustrando as funções - e suas relações - em um sistema integrado por computador para gerenciamento da produção. Muitas dessas funções são idênticas a seus correspondentes no PCP (Planejamento e Controle da Produção) tradicional. Por exemplo, previsões, planejamento da produção, compras e outras funções são as mesmas nas figuras 2 e 3. No diagrama, as funções de Planejamento e Controle da Produção (PCP) são destacadas em negrito.

#### 2.4.5 Administração de Materiais

A administração eficiente da área de materiais é fundamental para o sucesso da empresa. Cabe a ela especificar as condições de fornecimento (qualidade, prazo, preço e quantidade). Neste sentido, o capital da empresa é alocado somente na quantidade mínima, necessária para que os produtos sejam entregues aos clientes. A empresa deve evitar o investimento de capital em estoques. Para tanto, deve produzir somente em função da demanda, além de maximizar o giro do inventário.

Cabe ao responsável pela decisão indicar sua preferência em relação ao planejamento, assim como as condições de compra (padronizados; sob encomenda; ou produzidos internamente) dos componentes empregados. Usando esta informação, as condições obtidas serão implementadas e armazenadas na base de dados para referência futura.

Para minimizar o custo e maximizar a produtividade e a qualidade, é essencial obter os melhores parâmetros. Nota-se que cada produto possui seu planejamento e sua programação específica.

Considera-se que o pedido para a produção de determinado produto do setor metal-mecânico basicamente apresenta três fontes de origem:

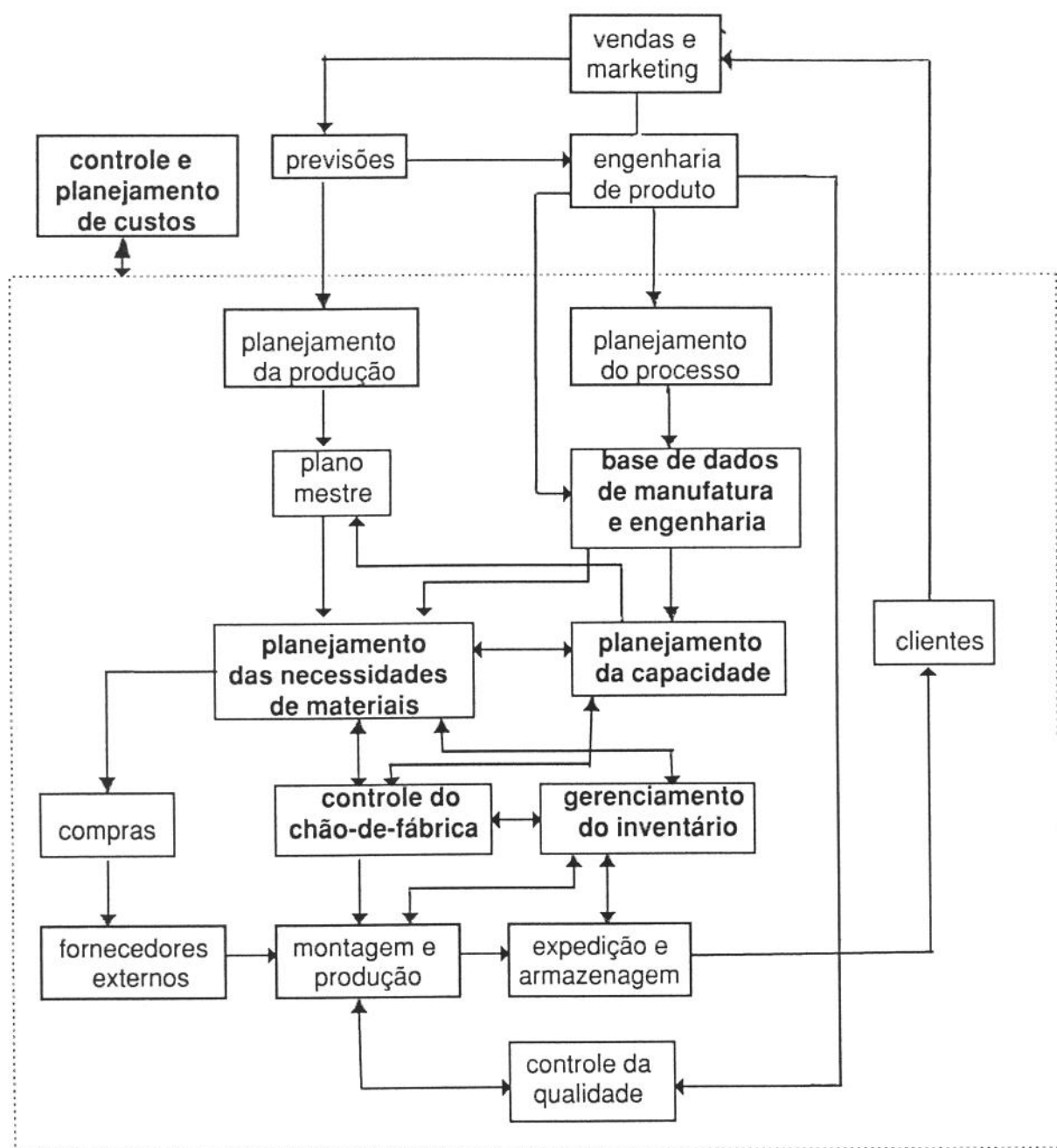


Figura 3 - Ciclo de atividades em um sistema de gerenciamento da produção integrado por computadores (GROOVER e ZIMMERS, 1984, p.331)



i. Previsões realizadas com base em dados históricos e projeções estatísticas de expectativas para vendas futuras. Neste caso, produz-se para estocagem, constituindo-se assim o modelo Mts ("Make-To-Stock");

ii. Pedidos em carteira referentes a contratos de parceria de longo prazo ou pedidos previamente encomendados. Neste caso, produz-se para atender aos pedidos em carteira, constituindo-se assim o modelo Mto ("Make-To-Order");

iii. Pedidos para peças individuais solicitadas para reparos efetuados pela assistência técnica da empresa. Esse pedidos são excluídos do MPS (Master Production Schedule ou Plano Mestre da Produção), pois não representam a demanda para produtos finais.

De posse da lista de quais produtos serão fabricados, em que quantidade e em qual prazo deverão ser entregues, elabora-se o MPS, conforme representação na figura 6 (capítulo 3). A atribuição dos dados apresentados no plano mestre da produção objetiva somente a validação da proposta, não refletindo uma situação real.

#### **2.4.6 O planejamento das necessidades de materiais (MRP)**

O planejamento das necessidades de materiais é realizado mediante o uso de uma planilha (sistema MRP) que especifica as quantidades e datas em que os materiais e componentes deverão estar disponíveis para a manufatura. A planilha pode ser elaborada manualmente (no caso de poucos componentes) ou através de sistemas computacionais (no caso de muitos componentes). Existem sistemas MRP desenvolvidos para computadores, disponíveis comercialmente, que apresentam sofisticados recursos.

Os principais benefícios decorrentes da utilização do MRP são (SCHAFFER, 1981):

i. Redução no inventário. O MRP afeta principalmente a matéria-prima, os componentes comprados e o inventário em processo. Os usuários estimam entre 30 a 50% de redução no inventário em processo;



ii. Melhor atendimento aos prazos. Alguns fabricantes de MRP estimam uma redução nos atrasos dos pedidos da ordem de 90%;

iii. Resposta rápida a mudanças na demanda e no MPS (plano mestre da produção);

iv. Maior produtividade. Com ganhos entre 5 a 30%;

v. Redução dos custos de "set-up" (preparação) e de mudanças de produto;

vi. Melhor utilização dos equipamentos;

vii. Redução no preço final dos produtos.

No MRP o planejamento é feito a partir do nível mais alto da estrutura do produto. Como exemplo, a figura 7 (capítulo 3) representa a estrutura do produto para o conjunto redutor apresentado na figura 4 (capítulo 3).

O funcionamento da planilha MRP é realizado com base no Plano Mestre da Produção (MPS).

A demanda de cada item (exemplificada no apêndice 2) é definida em função de:

i. "Lead time";

ii. Posição do item na estrutura do produto;

iii. Número de itens requeridos em cada sub-montagem.

O início e final dos pedidos (ordem planejada) é definido em função de:

i. Estoque de segurança;

ii. Tamanho do lote (lote mínimo);

iii. "Lead time" para produção do item.

## Capítulo 3

### Desenvolvimento da Interface CADSISP

#### 3.1 Introdução

Esta etapa visa apresentar a metodologia utilizada para o desenvolvimento de uma interface entre as atividades de Projeto Auxiliado por Computador (CAD) e a Administração de Materiais, permitindo a elaboração da programação dos materiais à partir de um desenho de conjunto elaborado no sistema CAD, conforme representação na figura 4. Dessa forma, é oferecida uma ferramenta para auxiliar o funcionário responsável - Engenheiro, Supervisor, Gerente, etc - a planejar e programar a produção.

A base do trabalho é o desenvolvimento da interface CADSISP (Interface entre o ambiente CAD e os Sistemas de Planejamento) para extração de dados contidos no projeto elaborado no Sistema CAD, utilizando especificamente o programa AutoCAD.

Para apresentação do trabalho utiliza-se o projeto de um conjunto redutor desenvolvido por PROVENZA (1986). Em relação ao projeto original, no ambiente CAD, é acrescida a lista de materiais (figura 5) que o compõe. O plano mestre da produção (figura 6), a árvore do produto (figura 7) e a planilha MRP (apêndice 2) são elaborados com base no projeto deste redutor.

O objetivo do trabalho corresponde ao desenvolvimento da interface. A planilha MRP - elaborada em Excel - tem a única finalidade de ilustrar a utilização dos dados extraídos com auxílio da interface.

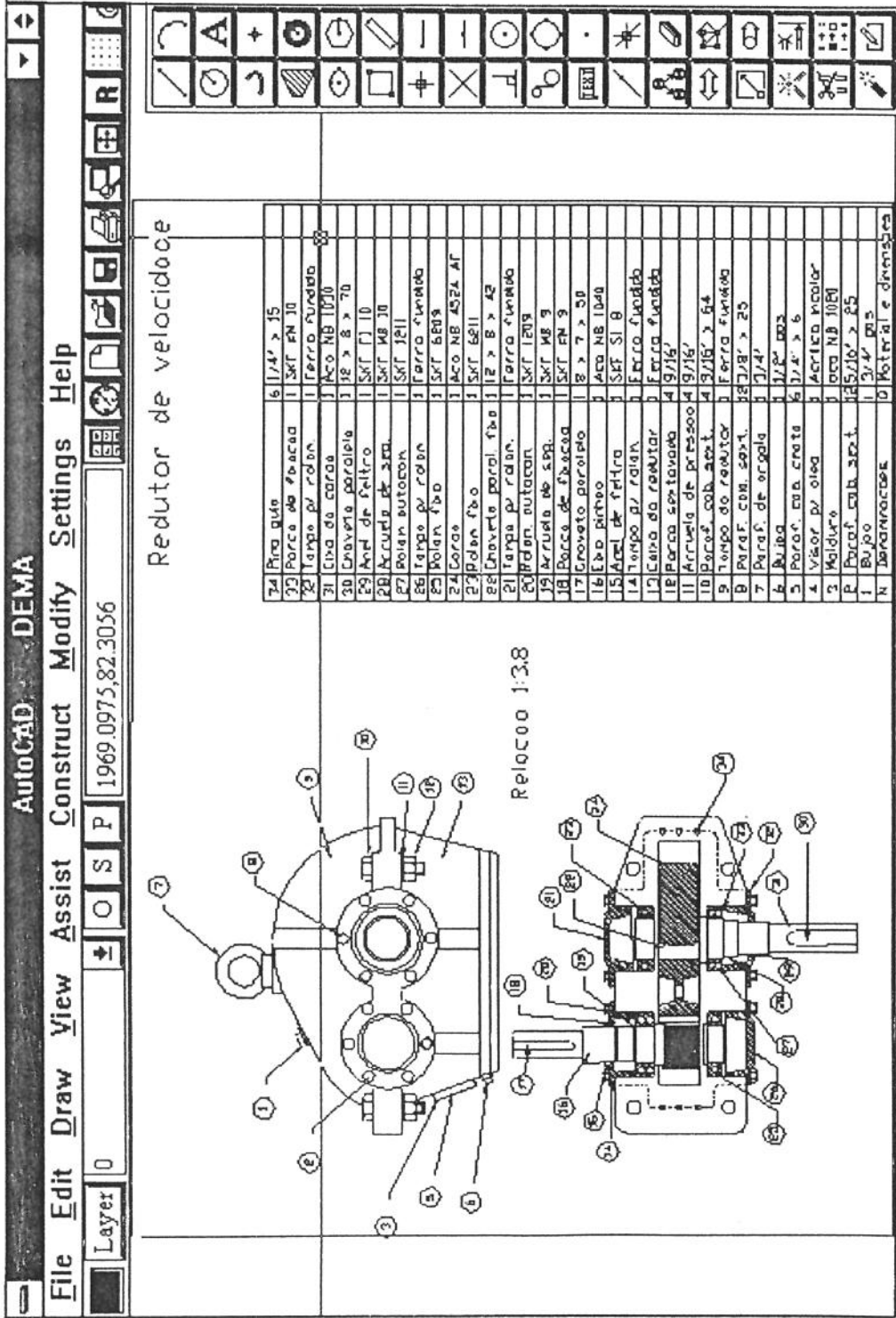


Figura 4 - Arquivo DEMA.DWG exibido no AutoCAD, representando um desenho de conjunto redutor.

SQ	DENOMINAÇÃO	QTDE/ ITEM	MATERIAL	ORIGEM	LEAD TIME
1	BUJÃO	1	3/4" GAS	1	0
2	PARAF. CAB. SEXT.	12	5/16" X 25	1	0
3	MOLDURA	1	AÇO NB 1020	1	0
4	VISOR P/ ÓLEO	1	ACRÍLICO INCOLOR	1	0
5	PARAF. CAB. CHATA	6	1/4" X 6	1	0
6	BUJÃO	1	1/2" GAS	1	0
7	PARAF. DE ARGOLA	1	3/4"	1	0
8	PARAF. CAB. SEXT.	12	3/8" X 25	1	0
9	TAMPA DO REDUTOR	1	FERRO FUNDIDO	2	0
10	PARAF. CAB. SEXT.	4	9/16" X 64	1	0
11	ARRUELA DE PRESSÃO	4	9/16"	1	0
12	PORCA SEXTAVADA	4	9/16"	1	0
13	CAIXA DO REDUTOR	1	FERRO FUNDIDO	2	0
14	TAMPA P/ ROLAM.	1	FERRO FUNDIDO	2	0
15	ANEL DE FELTRO	1	SKF SI 8	1	0
16	EIXO PINHÃO	1	AÇO NB 1040	3	8
17	CHAVETA PARALELA	1	8 X 7 X 50	3	8
18	PORCA DE FIXAÇÃO	1	SKF SM 9	1	0
19	ARRUELA DE SEG.	1	SKF MB 9	1	0
20	ROLAM. AUTOCOM.	1	SKF 1209	1	0
21	TAMPA P/ ROLAM.	1	FERRO FUNDIDO	2	0
22	CHAVETA PARAL. FIXA	1	12 X 8 X 42	3	8
23	ROLAM. FIXO	1	SKF 6211	1	0
24	COROA	1	AÇO NB 4524 AF	3	8
25	ROLAM. FIXO	1	SKF 6209	1	0
26	TAMPA P/ ROLAM.	1	FERRO FUNDIDO	2	0
27	ROLAM. AUTOCOM.	1	SKF 1211	1	0
28	ARRUELA DE SEG.	1	SKF MB 10	1	0
29	ANEL DE FELTRO	1	SKF FI 10	1	0
30	CHAVETA PARALELA	1	12 X 8 X 70	3	8
31	EIXO DA COROA	1	AÇO NB 1030	3	8
32	TAMPA P/ ROLAM.	1	FERRO FUNDIDO	2	0
33	PORCA DE FIXAÇÃO	1	SKF KM 10	1	0
34	PINO GUIA	6	1/4" X 15	3	8
	Origem: 1 = Comprado Padronizado;				
	2 = Comprado sob Encomenda;				
	3 = Produzido Internamente.				
	NOTA: Estoque de Segurança igual a Zero; Lote Mínimo = 1				

Figura 5 - Lista de materiais.

Item: Conjunto Redutor: LT (h) =		8 ES = 0; Qtde/Ordem = 1; Qtde/Item = 1																										
Período	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	
Demanda	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	170	0	0	0	0	0	0	130	0	0	0	0	0	0	
Estoque projetado	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Ordem - Firm	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	170	0	0	0	0	0	0	130	0	0	0	0	0	0	
Planejada - Início	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	170	0	0	0	0	0	0	130	0	0	0	0	0	0	200	

Figura 6 - Plano Mestre da Produção.

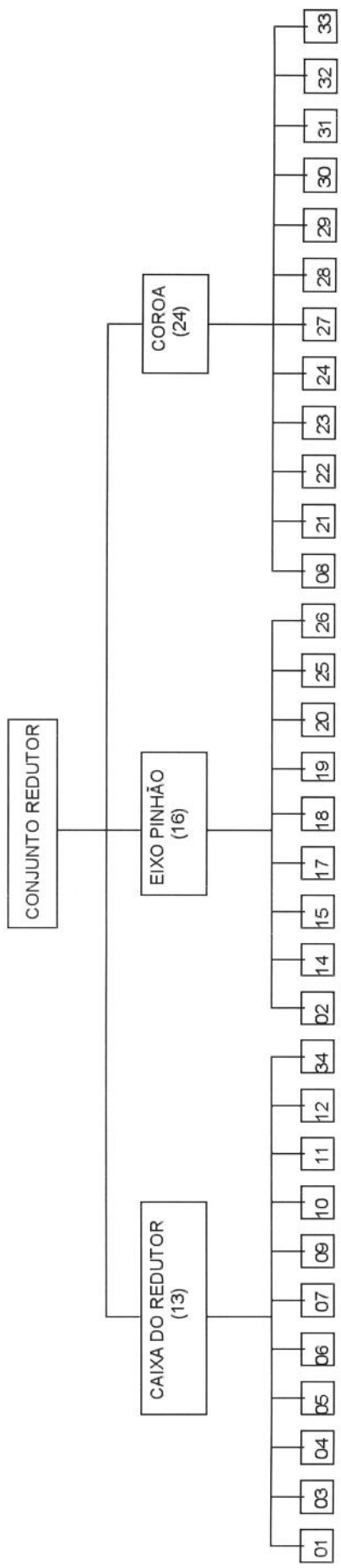


Figura 7 - Árvore do produto.

### 3.2 O programa AutoCAD

O AutoCAD é um poderoso sistema CAD, desenvolvido pela Autodesk. As primeiras versões do AutoCAD foram desenvolvidas para microcomputadores padrão IBM-PC-XT. Posteriormente, com o lançamento de máquinas mais poderosas (padrão IBM-PC-AT), foram desenvolvidas novas versões do AutoCAD. Atualmente a versão 13 (para ambiente Windows) é oferecida comercialmente. Neste caso é importante a utilização de um equipamento padrão IBM-PC-AT, com microprocessador 80486 (ou superior, como o Pentium). Existem versões do programa AutoCAD para estações de trabalho (como por exemplo, as estações SUN). O projeto gerado no ambiente de microcomputadores é totalmente compatível com o projeto gerado no ambiente das estações de trabalho (e vice-versa), desde que as versões do AutoCAD sejam idênticas.

A interface apresentada adiante (item 3.5) foi desenvolvida inicialmente para o AutoCAD R.10. Utilizou-se um microcomputador padrão IBM-PC-AT com microprocessador 80286. Posteriormente, o desenvolvimento da interface foi realizado no AutoCAD R.12 (para ambiente DOS). Neste caso, utilizou-se um microcomputador padrão IBM-PC-AT com microprocessador 80486. A versão final da interface apresentada neste trabalho foi realizada no AutoCAD R.12 (para ambiente Windows). Neste caso não foi necessária a mudança de equipamento. A versão 13 do AutoCAD foi lançada comercialmente após a finalização desse trabalho.

No AutoCAD os comandos são selecionados a partir do menu (com auxílio do mouse) ou através do teclado. Um menu corresponde a uma lista de itens, dentre os quais o usuário faz uma escolha. O AutoCAD pode ser interfaceado com sistemas CAD desenvolvidos por outros fabricantes (como por exemplo, o Intergraph). Neste caso existem alguns problemas, como citado no item 2.2.

Com um conhecimento básico, os usuários podem criar projetos mais rapidamente com o AutoCAD, que manualmente. Pode-se melhorar o desempenho de um projeto através da adequação do AutoCAD às necessidades da empresa. O real poder do AutoCAD deve-se à facilidade com que pode ser personalizado e ligado a outros processos da empresa, como o CAM ou a editoração eletrônica

(aplicação de sombreamento, cores, etc). O motivo para personalizar o AutoCAD é torná-lo mais simples, e não mais complexo.

Muitas referências tem sido feitas em relação a competitividade, que corresponde a habilidade para obter e manter maior velocidade, performance e flexibilidade com seu sistema. Em um mercado global, toda empresa deve oferecer projetos e produtos ao mercado de forma mais rápida que seus concorrentes.

Uma das formas de obtenção da competitividade ocorre através do relacionamento do CAD com todas as outras atividades dentro de uma organização, e não somente pela utilização de algumas rotinas AutoLISP.

Os seguintes fatores determinaram a escolha do AutoCAD para o desenvolvimento da interface relativa a dissertação de mestrado:

i. Maior base instalada. Grande parte das empresas e instituições de ensino e pesquisa adotam o AutoCAD como padrão para a área de projetos;

ii. Baixo custo de suporte. O AutoCAD corresponde a um sistema CAD universal que pode ser facilmente personalizado para atender às necessidades de diferentes departamentos e aplicações (mecânica, civil, hidráulica, elétrica, etc). Portanto, uma empresa não precisa comprar e suportar diferentes sistemas CAD para satisfazer diferentes necessidades;

iii. Economia de tempo e obtenção de melhores projetos. Com o uso de rotinas AutoLISP, e fornecendo-se alguns dados para o AutoCAD, pode-se desenhar sem a intervenção do operador;

iv. Redução de erros. Como exemplo, as dimensões de um projeto podem ser indicadas instantaneamente;

v. Consistência. Os programas AutoLISP proporcionam consistência para todos os projetos efetuados;

vi. Requer menos especialistas. Usuários com pouca experiência podem realizar o trabalho que antes era realizado somente por especialistas;



vii. Estímulo à criatividade. O CAD se torna monótono quando os operadores realizam o mesmo tipo de desenho e repetem as mesmas rotinas diariamente. O conhecimento de rotinas AutoLISP estimula a busca de formas para automatizar o sistema, expandindo o conhecimento sobre o AutoCAD;

viii. Ligação a outros programas. O compartilhamento de informações geométricas e tecnológicas do projeto pode romper algumas barreiras organizacionais e melhorar a competitividade da empresa.

### 3.3 A linguagem AutoLISP

O LISP corresponde a uma das primeiras linguagens de programação de alto nível desenvolvidas. Ele permitiu que os programadores utilizassem expressões em inglês. A versão do LISP utilizada pelo AutoCAD é considerada um "subset" da linguagem LISP. A Autodesk, fabricante do AutoCAD manteve, eliminou ou acrescentou comandos ao AutoLISP. O AutoLISP é uma linguagem desenvolvida especificamente para o AutoCAD (HEAD, 1989).

Um programa AutoLISP é criado sob o formato texto. Pode-se utilizar os programas "EDLIN" ou "EDIT" (fornecidos juntamente com o sistema operacional MS-DOS) ou qualquer outro editor de textos (como por exemplo, o Microsoft Word 6.0 for Windows) para criar o arquivo. Caso seja utilizado o Word 6.0, é necessário que o arquivo seja salvo no formato "ASCII" ou "DOS", e não com o formato "Word 6.0" (neste caso o arquivo contém dados adicionais, como fonte e tamanho dos caracteres, formatação de parágrafos, etc), que provoca erros durante o carregamento da rotina pelo AutoCAD.

Pode-se criar um arquivo texto para cada programa. O arquivo texto pode ter o mesmo nome do programa e deve utilizar a extensão apropriada (.LSP). Cada programa é iniciado a partir de uma declaração "DEFUN", como por exemplo: (DEFUN C:CADSISP ()).

O nome do programa na linha precedente é CADSISP. Para utilizar o programa é necessário que o usuário esteja no ambiente AutoCAD e digite o nome

do programa na linha de comando. Portanto, cria-se o programa CADSISP como um arquivo chamado CADSISP.LSP.

Após criar um arquivo AutoLISP, deve-se carregá-lo antes que seja utilizado. Os arquivos AutoLISP são carregados a partir de um desenho AutoCAD. Como exemplo, carrega-se o programa CADSISP com a seguinte declaração, seguida do pressionamento da tecla "return": (LOAD "CADSISP.LSP") <RETURN>.

Desde que o programa esteja carregado, pode-se utilizá-lo como qualquer comando AutoCAD. Para tanto, digite o nome do programa e pressione "return": CADSISP <RETURN>.

Muitas vezes ocorrem erros durante a digitação de programas AutoLISP. O erro mais comum corresponde a omissão de parênteses. Quando isto ocorre o arquivo não é carregado. Neste caso é emitida uma mensagem de erro.

Em alguns casos, quando se tenta carregar um arquivo AutoLISP o AutoCAD pode não encontrá-lo, caso não esteja no diretório específico. Para tanto, é necessário que o AutoCAD identifique o diretório no qual os programas AutoLISP estão gravados. O AutoCAD R.12 cria um arquivo, chamado ACADR12.BAT, quando está instalado. A primeira declaração neste arquivo é: "SET ACAD = C:\ACAD\SUPPORT; C:\ACAD\FONTS; C:\ACAD\ADS".

A declaração "SET ACAD =" indica ao AutoCAD onde procurar pelos diversos arquivos que necessita. Cada diretório é separado por um ponto e vírgula (;). Portanto, pode-se utilizar um editor de textos e acrescentar o diretório "AUTOLISP" na declaração "SET ACAD =". Portanto, a declaração passará a ser: "SET ACAD = C:\ACAD\SUPPORT; C:\ACAD\FONTS; C:\ACAD\ADS; C:\AUTOLISP". Dessa forma, o AutoCAD pode procurar pelos programas AutoLISP no diretório C:\AUTOLISP.

### 3.4 O Microsoft Excel

O programa Microsoft Excel 4.0 (para ambiente Windows) corresponde a uma planilha eletrônica na qual é permitida a gravação, o cálculo e a análise de dados.

O Microsoft Excel 4.0 também pode ser utilizado como um gerenciador de banco de dados. Neste caso, um banco de dados corresponde a partes de uma planilha, utilizadas para organizar, gerenciar e recuperar informações.

O Microsoft Excel dispõe de botões (menus) que possibilitam a execução das ações selecionadas mais rápida e facilmente, com auxílio do mouse. Além disso, dispõe de comandos de importação e exportação que permitem a troca de dados entre os arquivos criados pelo Microsoft Excel e aqueles criados em outros aplicativos.

No Microsoft Excel foi criado um sistema MRP. Esse sistema tem objetivo puramente didático, e não ser oferecido como alternativa aos sistemas MRP disponíveis comercialmente.

### 3.5 A interface CADSISP

Na figura 8 está representada a relação entre o Projeto Auxiliado por Computador (CAD) e a Administração de Materiais, através da interface CADSISP.

A interface CADSISP é escrita em AutoLISP, tendo como função a extração dos dados correspondentes aos materiais a serem utilizados no projeto. No apêndice 1 são apresentadas as rotinas que compõe a interface CADSISP. Ambos, materiais e projeto, estão suportados pelo ambiente CAD. Os dados extraídos encontram-se no formato ASCII, permitindo a utilização imediata por programas de planilha eletrônica - como o Excel.

As implementações foram desenvolvidas no AutoCAD R.12 (para ambiente Windows) e Excel 4.0 (para ambiente Windows).

O programa AutoCAD permite a execução de rotinas escritas em AutoLISP diretamente no ambiente CAD. Durante o projeto elabora-se a lista de materiais no

ambiente CAD. Mediante a interface CADSISP realiza-se a extração dos dados referentes aos materiais a serem utilizados no produto.

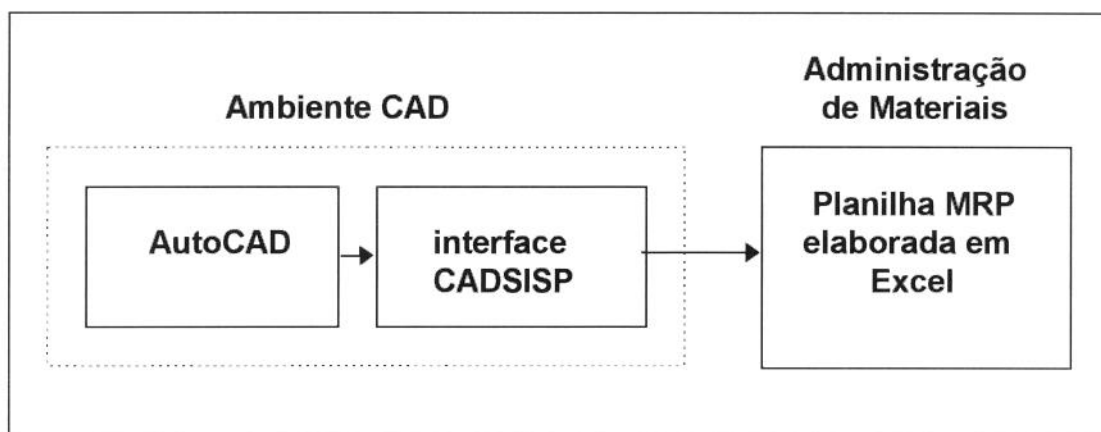


Figura 8 - Relação entre o Projeto Auxiliado por Computador e a Administração de Materiais através da interface CADSISP.

Na figura 9 apresenta-se o ciclo entre o projeto e a obtenção dos resultados do planejamento. Visando a obtenção de resultados consistentes, a empresa pode terceirizar a produção de certos itens. Dessa forma poderá oferecer produtos com maior qualidade, menor custo ou prazo de entrega menor.

Na figura 10, apresenta-se o "carregamento" da interface CADSISP. Após o carregamento, a interface CADSISP torna-se um comando do AutoCAD. Este comando pode ser executado através da digitação do nome CADSISP na linha de comando e posterior pressionamento da tecla "enter" (figura 11).

Em seguida, solicita-se ao operador para que atribua um nome para o arquivo a ser criado (figura 12). Com o auxílio do "mouse", o operador seleciona as informações que serão copiadas para o arquivo recém criado (figura 13).

O arquivo é importado pelo Excel (figura 14) através da seguinte seqüência de comandos: arquivo; abrir; todos os arquivos (\*.\*) ; seleciona arquivo; texto; delimitador de coluna (tabulador); origem do arquivo (MS-DOS); OK (para confirmar importação).

A origem e o "lead time" para cada material ou componentes é definida através da seguinte seqüência de comandos: seleciona-se com o "mouse"; dados; definir critérios (figura 15).

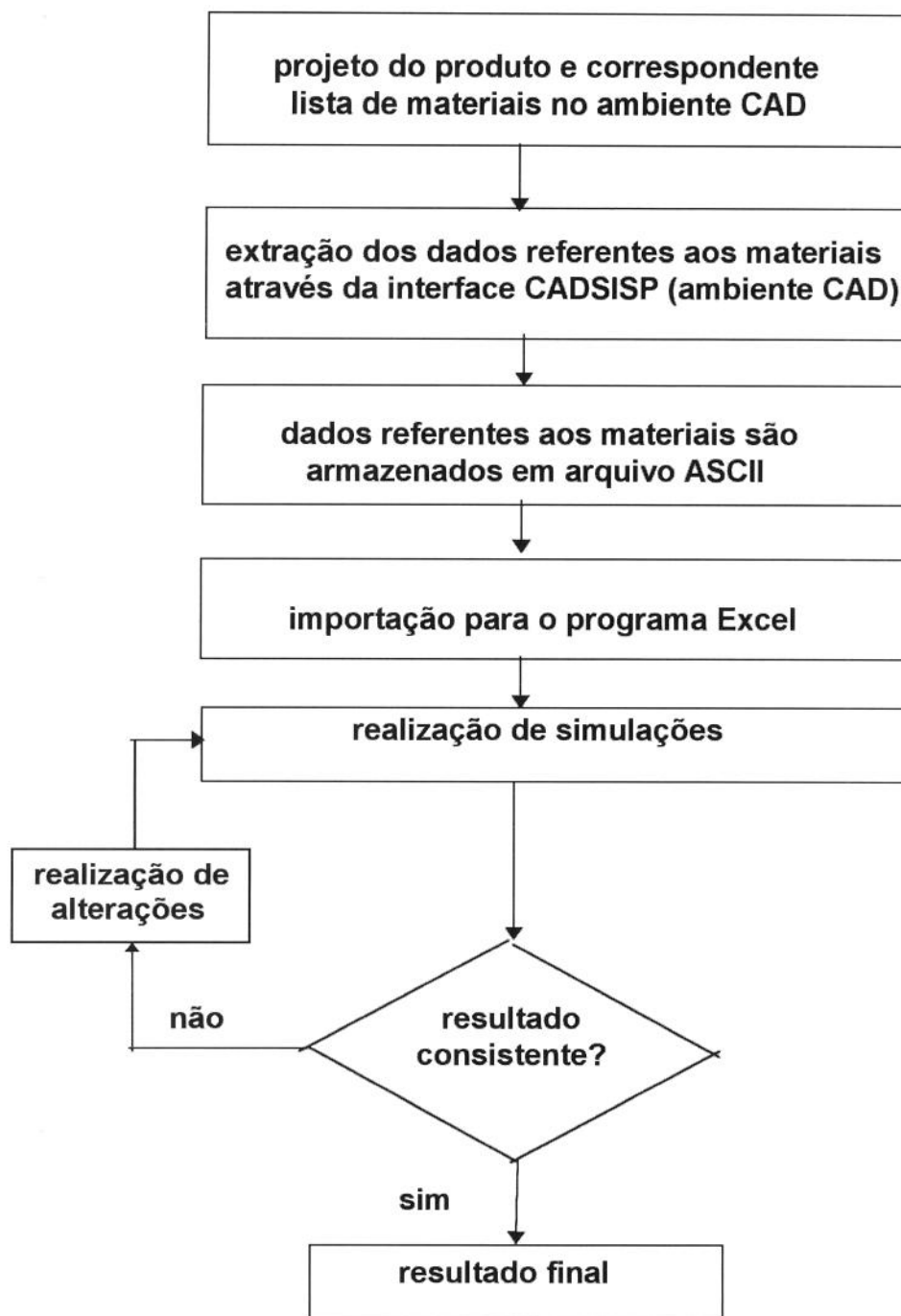


Figura 9 - Fluxograma representando o ciclo entre o projeto e a obtenção de resultados de planejamento.

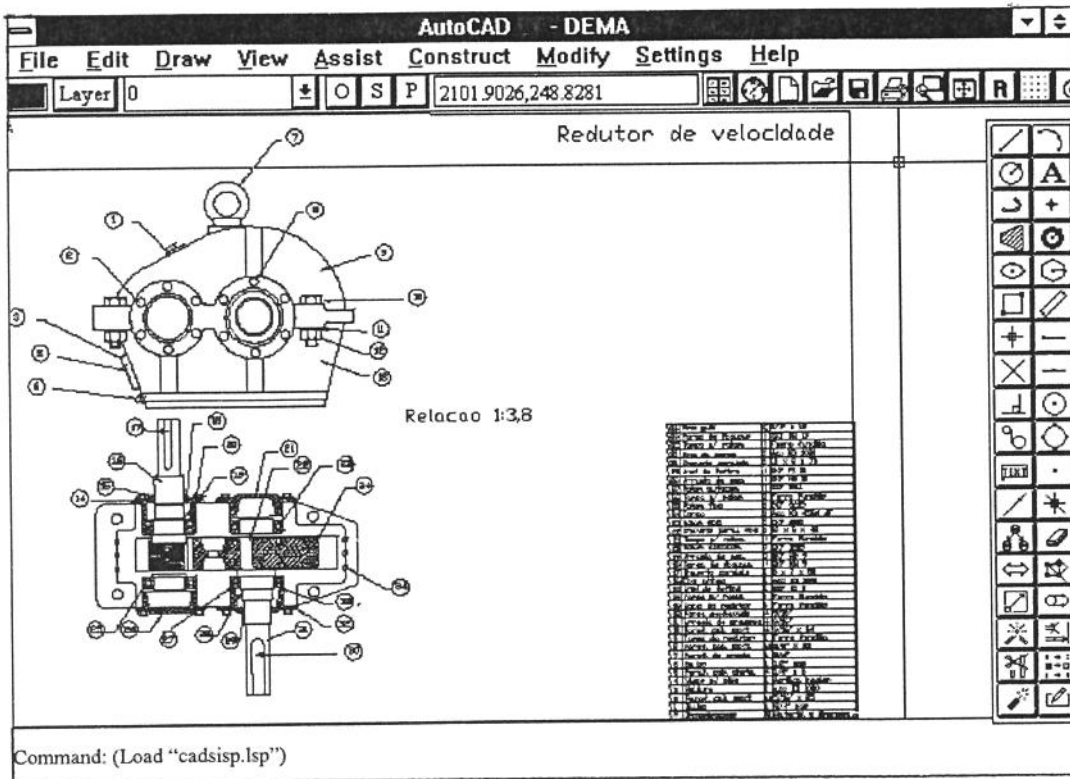


Figura 10 - "Carregamento" da Interface CADISIP.

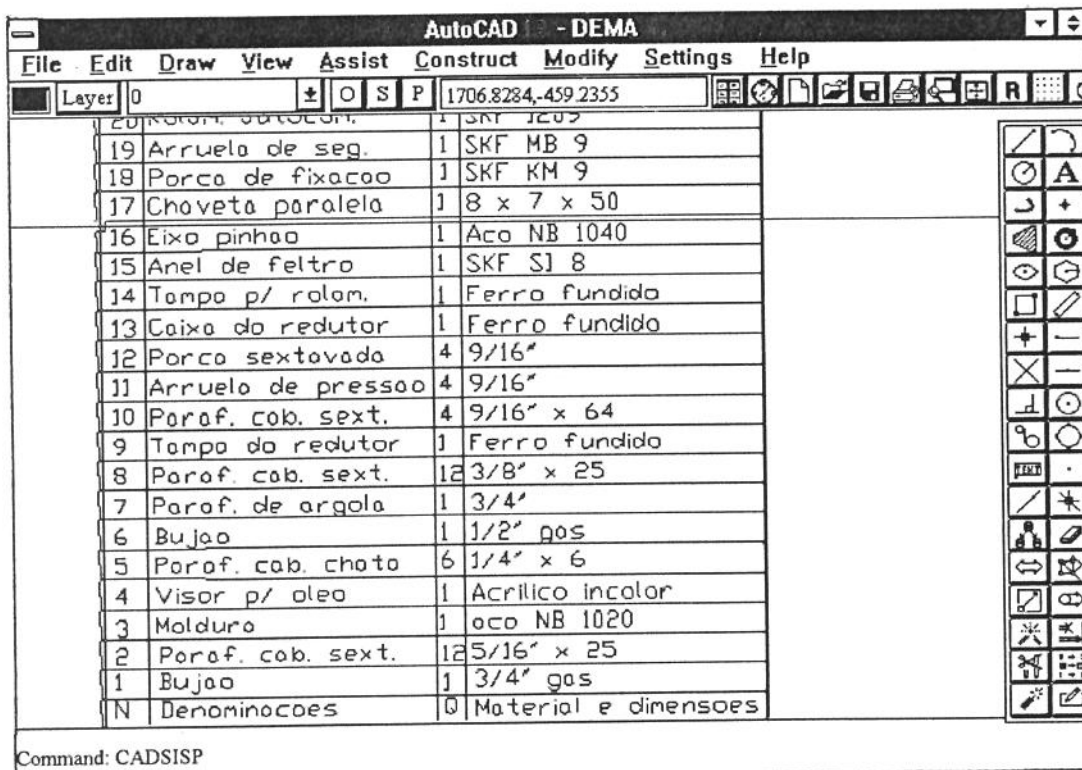


Figura 11 - Execução da Interface CADISIP.

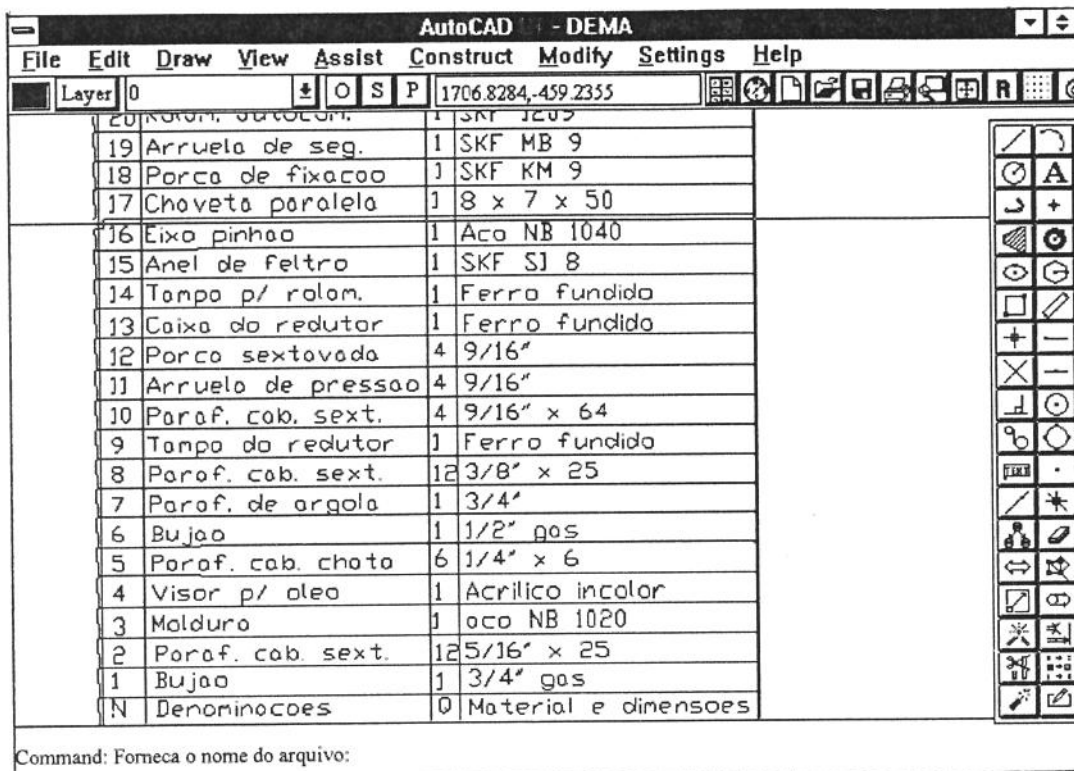


Figura 12 - Atribuição de nome para o arquivo a ser criado.

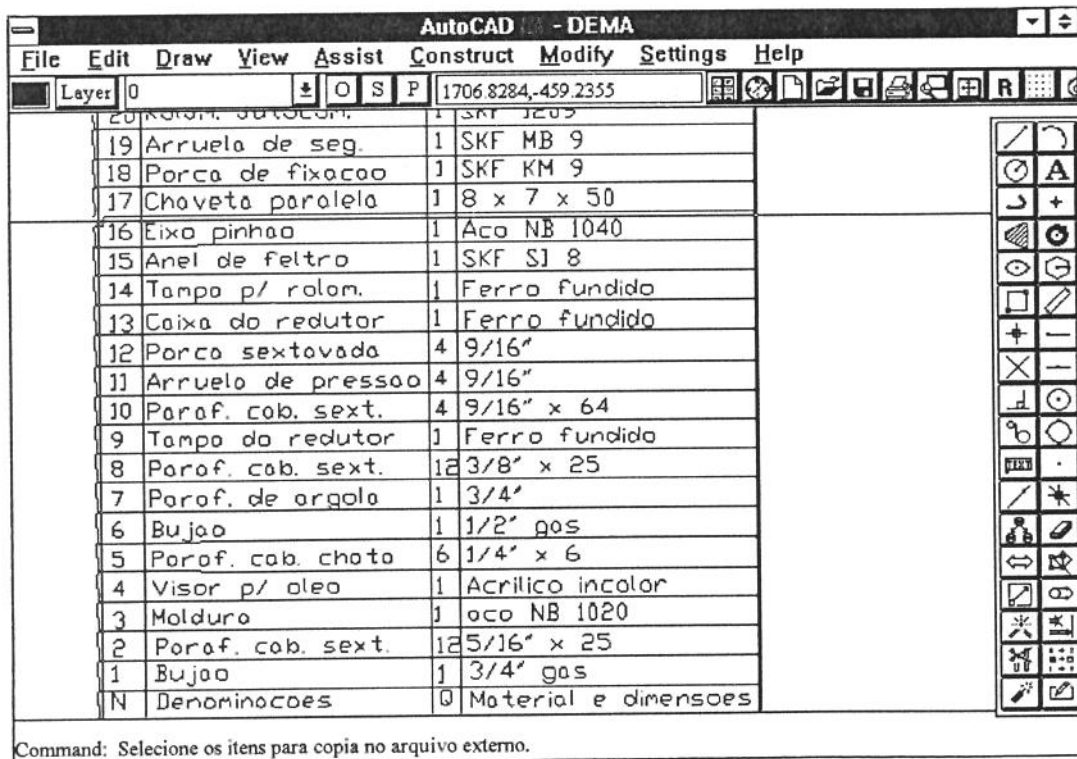


Figura 13 - Seleção das informações que serão copiadas para o arquivo.



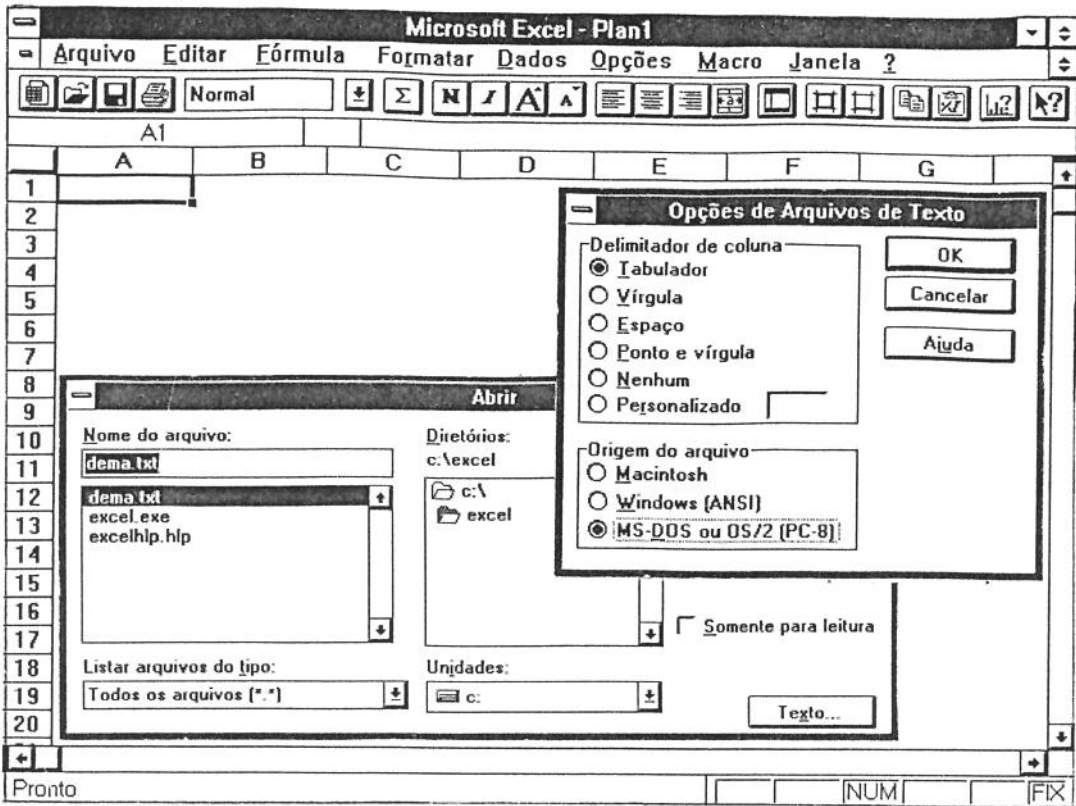


Figura 14 - Importação de arquivo através do Excel.

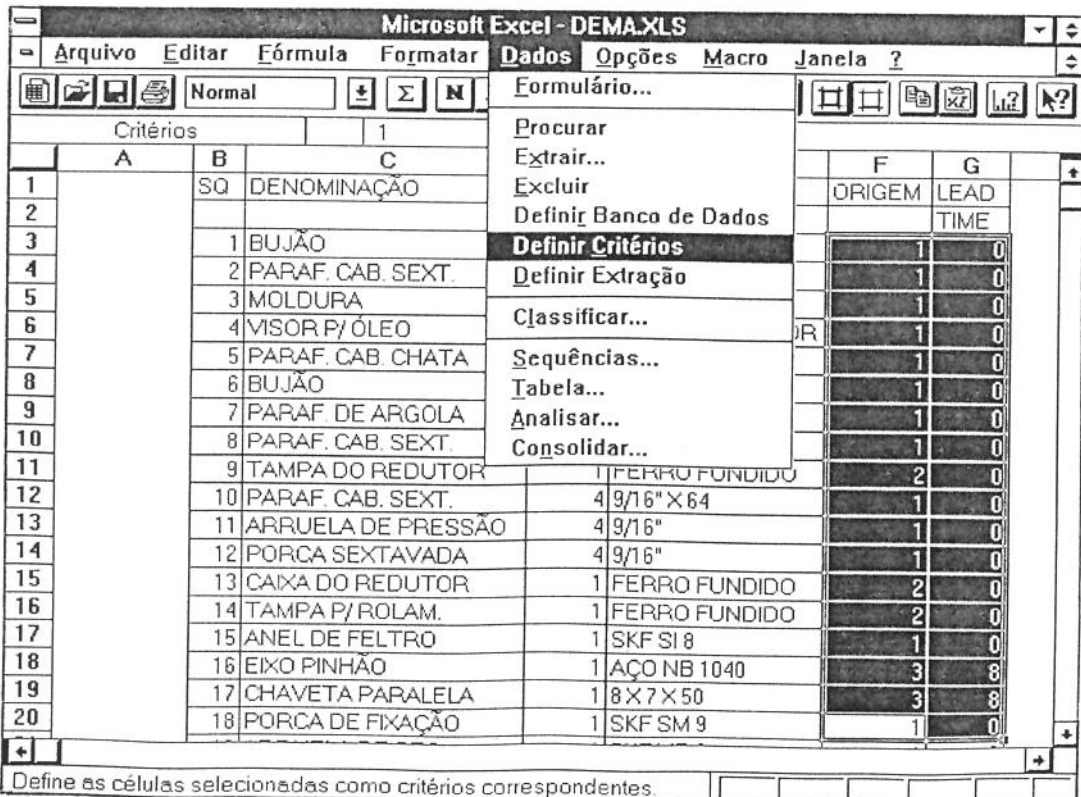


Figura 15 - Definição da origem e do "lead time" para os materiais e componentes.



É realizada a classificação dos materiais e componentes através da seguinte seqüência: seleciona-se com o "mouse" todos os dados que serão classificados quanto à origem (figura 16); dados; classificar (no caso: e3..e36); ordenar por linhas; OK (para confirmar classificação).

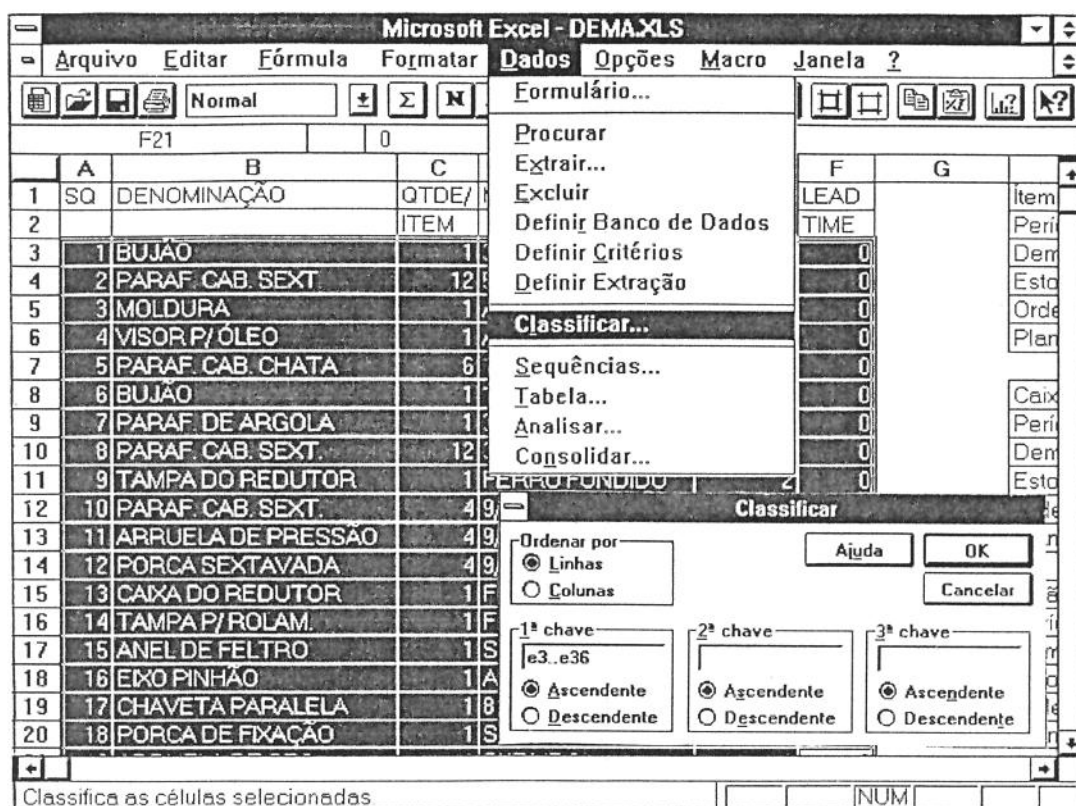


Figura 16 - Classificação dos materiais e componentes quanto à origem.

Como resultado, tem-se a listagem apresentada na figura 17. Os itens classificados como comprado padronizado ou comprado sob encomenda são de responsabilidade do departamento de compras da empresa. Os itens produzidos internamente são de responsabilidade do departamento de Planejamento e Controle da Produção.

No Excel elabora-se a planilha MRP (Material Requirements Planning), conforme representação no apêndice 2. A programação das células que definem a planilha MRP é realizada manualmente pelo usuário. Cada novo produto exige a programação de uma nova planilha. No caso de serem realizadas modificações de engenharia em determinado produto, é necessário a revisão da planilha, garantindo

SQ	DENOMINAÇÃO	QTDE/ ITEM	MATERIAL	ORIGEM	LEAD TIME
1	BUJÃO	1	3/4" GAS	1	0
2	PARAF. CAB. SEXT.	12	5/16" X 25	1	0
3	MOLDURA	1	AÇO NB 1020	1	0
4	VISOR P/ ÓLEO	1	ACRÍLICO INCOLOR	1	0
5	PARAF. CAB. CHATA	6	1/4" X 6	1	0
6	BUJÃO	1	1/2" GAS	1	0
7	PARAF. DE ARGOLA	1	3/4"	1	0
8	PARAF. CAB. SEXT.	12	3/8" X 25	1	0
10	PARAF. CAB. SEXT.	4	9/16" X 64	1	0
11	ARRUELA DE PRESSÃO	4	9/16"	1	0
12	PORCA SEXTAVADA	4	9/16"	1	0
15	ANEL DE FELTRO	1	SKF SI 8	1	0
18	PORCA DE FIXAÇÃO	1	SKF SM 9	1	0
19	ARRUELA DE SEG.	1	SKF MB 9	1	0
20	ROLAM. AUTOCOM.	1	SKF 1209	1	0
23	ROLAM. FIXO	1	SKF 6211	1	0
25	ROLAM. FIXO	1	SKF 6209	1	0
27	ROLAM. AUTOCOM.	1	SKF 1211	1	0
28	ARRUELA DE SEG.	1	SKF MB 10	1	0
29	ANEL DE FELTRO	1	SKF FI 10	1	0
33	PORCA DE FIXAÇÃO	1	SKF KM 10	1	0
9	TAMPA DO REDUTOR	1	FERRO FUNDIDO	2	0
13	CAIXA DO REDUTOR	1	FERRO FUNDIDO	2	0
14	TAMPA P/ ROLAM.	1	FERRO FUNDIDO	2	0
21	TAMPA P/ ROLAM.	1	FERRO FUNDIDO	2	0
26	TAMPA P/ ROLAM.	1	FERRO FUNDIDO	2	0
32	TAMPA P/ ROLAM.	1	FERRO FUNDIDO	2	0
16	EIXO PINHÃO	1	AÇO NB 1040	3	8
17	CHAVETA PARALELA	1	8 X 7 X 50	3	8
22	CHAVETA PARAL. FIXA	1	12 X 8 X 42	3	8
24	COROA	1	AÇO NB 4524 AF	3	8
30	CHAVETA PARALELA	1	12 X 8 X 70	3	8
31	EIXO DA COROA	1	AÇO NB 1030	3	8
34	PINO GUIA	6	1/4" X 15	3	8
Origem: 1 = Comprado Padronizado;					
2 = Comprado sob Encomenda;					
3 = Produzido Internamente.					
NOTA: Estoque de Segurança igual a Zero; Lote Mínimo = 1					

Figura 17 - Classificação de materiais e componentes quanto à origem.

que seja realizada a programação dos itens acrescentados ao projeto, assim como a eliminação da programação de itens retirados do projeto original.

Com base na planilha MRP, no conceito de custo-alvo, na qualidade e tempos previstos, o projeto pode ser revisto no ambiente CAD, adequando-se às necessidades e expectativas do mercado, quanto à qualidade, prazo e preço do produto. Neste sentido, a empresa pode terceirizar o fornecimento de determinado componente para o qual havia previsão de produção interna, pela própria empresa, visando o atendimento aos prazos. Um exemplo oposto seria a fabricação interna de determinado componente pela empresa, no caso dos fornecedores não atenderem aos prazos exigidos. Neste trabalho não é realizada a análise dos custos que compõe o produto.

Em alguns casos é importante a revisão do projeto no CAD, visando maximizar os resultados. O benefício desta estratégia relaciona-se com o fato de que 90% do custo de um produto é determinado na fase de projeto. Portanto, pode-se minimizar os pontos fracos e maximizar os pontos fortes do projeto.

No caso de uma empresa que ofereça grande diversidade de produtos em seu catálogo, o sistema MRP pode ser processado somente para itens com elevado custo unitário e de pouco consumo (exemplo: eixos). Os demais itens (baixo custo unitário e grande consumo), como é o caso de parafusos, podem ser controlados através da determinação de seu ponto de reposição.

A manipulação dos dados pode ser realizada por outros tipos de programas, como o dBASE, Lotus123, Access, etc, sem qualquer prejuízo quanto aos conceitos aqui desenvolvidos.

Para as empresas que possuam outro tipo de equipamento ou programa CAD é necessária a utilização do formato IGES (Initial Graphics Exchange Specification) para a extração dos dados referentes aos materiais previstos para o produto. O arquivo resultante deve ser tratado previamente para a seleção das informações que alimentarão o sistema de planejamento. Essa abordagem não é detalhada neste trabalho porque a maioria das companhias e instituições adotam o programa AutoCAD como padrão para a área de projetos. Além disso, dispõe-se atualmente

de microcomputadores com grande capacidade de processamento e preço acessível, mesmo a pequenas companhias.

## 4 Conclusões e sugestões para trabalhos futuros

Atualmente, a manufatura está sendo solicitada a produzir uma grande diversidade de produtos, com pequeno ciclo de vida no mercado. Essas exigências refletem-se na necessidade de integração entre as funções de uma empresa. A utilização de recursos computacionais permite que esta integração se torne realidade. Existem problemas para que a integração ofereça todos os benefícios aos usuários. Neste sentido, este trabalho apresentou o desenvolvimento de uma interface entre as áreas de Projeto Auxiliado por Computador e a Administração de Materiais.

A principal contribuição deste trabalho foi propor a utilização de um banco de dados dos materiais e componentes diretamente no ambiente CAD. A informação contida neste banco de dados pode ser manipulada por outras funções dentro da empresa, e mesmo por fornecedores externos, como é o caso da planilha MRP, no caso dos materiais e componentes comprados sob encomenda ou padronizados.

Um dos benefícios da interface desenvolvida corresponde a extração das informações para um arquivo externo no formato ASCII, permitindo a manipulação dos dados por diversos ambientes (DOS, Windows, Mainframe, etc), assim como inúmeros programas (dBASE, Lotus, Access, Excel, COPICS, etc). Neste aspecto, propõe-se o desenvolvimento de trabalhos futuros no sentido de utilizar os dados extraídos para manipulação a nível de custos (Custeio Baseado em Atividades, por exemplo), ou mesmo a definição de estratégias quanto ao fornecimento de materiais e componentes.

## Apêndice 1

### Interface CADSISP escrita em AutoLISP

```

;;;-----
;;;
;;; CADSISP   versao 1.5   1995
;;;
;;;-----
(Defun C:\CADSISP () (Setvar "Cmdecho" 0)
(Setup A (Getstring "\nForneca o nome do arquivo: "))
(setq B (Open A "r")) (If B (Progn
(Princ "\nArquivo ja existe.") (Close B) (Initget "S N")
(Setup X (Getword "\nDeseja sobrescrever? <N> "))
(If (= X "S") (Pronto))) (Pronto)) (Princ))
(Defun Pronto () (Setup C (Open A "w"))
(Prompt "\nArquivo aberto")
(Prompt "\nSelecione os itens para copia no arquivo externo") (Setup D 0)
(Setup E (Ssget)) (Setup F (Sslength E)) (Repeat F
(Setup M (Ssname)) (Setup G (Sslength E)) (Repeat G
(Setup H (Ssname E D)) (Setup I (Entget G))
(Setup J (Cdr (Assoc I H))) (Write-line I C) (Setup D (+ I D)))
(Close C))

```

```

;;;-----
;;; Significado dos comandos utilizados na interface CADSISP:
;;;
;;; DEFUN: O primeiro comando em um programa AutoLISP; define o nome
;;;         da funcao ou programa

```

- ;;; SETVAR (SET VARIables): Comando AutoLISP que fixa as variaveis do sistema AutoCAD. No caso, Cmdecho determina se os comandos AutoLISP sao exibidos na tela (1=sim; 0=nao)
- ;;; SETQ: Comando de atribuicao basico no AutoLISP (no caso o nome do arquivo e' atribuido a variavel A)
- ;;; GETSTRING: Comando AutoLISP que considera uma entrada pelo teclado como uma sequencia de caracteres
- ;;; () Parenteses: Cada comando e lista AutoLISP e' envolvido por parenteses
- ;;; OPEN: Comando AutoLISP que abre um arquivo
- ;;; PROGN: Comando AutoLISP que agrupa muitas declaracoes AutoLISP em uma, para usar como uma simples declaracao THEN ou ELSE. Exemplo: (if = a b) PROGN (xxx) (xxx) (xxx))
- ;;; PRINC: Comando AutoLISP de impressao
- ;;; CLOSE: Comando AutoLISP que fecha um arquivo
- ;;; INITGET: Comando AutoLISP que inicializa varias situacoes dependendo do sinal (flag) solicitado
- ;;; GETKEYWORD: Comando AutoLISP usado em lugar de GETSTRING para verificar apenas as entradas selecionadas
- ;;; PROMPT: Comando AutoLISP que imprime na tela
- ;;; SSGET: Comando AutoLISP que seleciona entidades para os comandos VIEW e CHANGE (Exemplo: (SETQ a (SSGET))
- ;;; SSLENGTH: Comando AutoLISP que determina o numero de entidades em um conjunto selecionado
- ;;; REPEAT: Comando AutoLISP de laco ("loop") para repeticao certo numero de vezes. Exemplo: (REPEAT 5)
- ;;; SSNAME: Comando AutoLISP que assegura o nome de uma entidade. Exemplo: (SETQ na (SSNAME a 0))
- ;;; ENTGET: Comando AutoLISP que mantem uma lista de entidades. Exemplo: (SETQ b (ENTGET na))
- ;;; CDR: Comando AutoLISP que produz o segundo elemento e posteriores em uma lista. Por exemplo, se A e' uma lista (3 5 7 9), entao (CDR A) produz (5 7 9)

;;; ASSOC: Com uma lista de entidades, ASSOC usa o numero de codigo da  
;;; entidade como chave. Exemplo: (SETQ c (ASSOC 40 b))  
;;; WRITE-LINE: Linha de escrita para a lista  
;;;-----



## **Apêndice 2**

### **MRP referente aos componentes e materiais do redutor**

Caixa do Redutor (SEQ. 13)																											
Período	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
Demanda	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	170	0	0	0	0	0	0	130	0	0	0	0	0	0	200
Estoque projetado	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ordem	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	170	0	0	0	0	0	0	130	0	0	0	0	0	0	200
Planejada	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	170	0	0	0	0	0	0	130	0	0	0	0	0	0	200
Bujão (SEQ.01)																											
Período	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
Demanda	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	170	0	0	0	0	0	0	130	0	0	0	0	0	0	200
Estoque projetado	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ordem	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	170	0	0	0	0	0	0	130	0	0	0	0	0	0	200
Planejada	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	170	0	0	0	0	0	0	130	0	0	0	0	0	0	200
Moldura (SEQ.03)																											
Período	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
Demanda	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	170	0	0	0	0	0	0	130	0	0	0	0	0	0	200
Estoque projetado	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ordem	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	170	0	0	0	0	0	0	130	0	0	0	0	0	0	200
Planejada	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	170	0	0	0	0	0	0	130	0	0	0	0	0	0	200
Visor para Óleo (SEQ.04)																											
Período	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
Demanda	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	170	0	0	0	0	0	0	130	0	0	0	0	0	0	200
Estoque projetado	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ordem	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	170	0	0	0	0	0	0	130	0	0	0	0	0	0	200
Planejada	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	170	0	0	0	0	0	0	130	0	0	0	0	0	0	200
Parafuso Cabeça Chata (SEQ.05)																											
Período	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
Demanda	0	0	0	0	0	600	0	0	0	0	0	0	1020	0	0	0	0	0	0	780	0	0	0	0	0	0	1200
Estoque projetado	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ordem	0	0	0	0	0	600	0	0	0	0	0	0	1020	0	0	0	0	0	0	780	0	0	0	0	0	0	1200
Planejada	0	0	0	0	0	600	0	0	0	0	0	0	1020	0	0	0	0	0	0	780	0	0	0	0	0	0	1200
Bujão (SEQ.06)																											
Período	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
Demanda	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	170	0	0	0	0	0	0	130	0	0	0	0	0	0	200
Estoque projetado	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ordem	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	170	0	0	0	0	0	0	130	0	0	0	0	0	0	200
Planejada	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	170	0	0	0	0	0	0	130	0	0	0	0	0	0	200
Parafuso de Argola (SEQ.07)																											
Período	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
Demanda	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	170	0	0	0	0	0	0	130	0	0	0	0	0	0	200
Estoque projetado	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ordem	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	170	0	0	0	0	0	0	130	0	0	0	0	0	0	200
Planejada	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	170	0	0	0	0	0	0	130	0	0	0	0	0	0	200
Tampa do Redutor (SEQ.09)																											
Período	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
Demanda	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	170	0	0	0	0	0	0	130	0	0	0	0	0	0	200
Estoque projetado	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ordem	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	170	0	0	0	0	0	0	130	0	0	0	0	0	0	200
Planejada	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	170	0	0	0	0	0	0	130	0	0	0	0	0	0	200













## Referências bibliográficas

ALLEN, D.K. Architecture for Computer-Integrated Manufacturing. *Annals of the CIRP*, V.35, N.1, p.317-320, 1986.

ALTING, L. Integration of Engineering Functions/Disciplines in CIM. *Annals of the CIRP*, V.35, N.1, p.317-320, 1986.

ALTING, L. e ZHANG, H. Computer Aided Process Planning: The State-of-the-Art Survey. *International Journal of Production Research*, V.27, N.4, p.553-585, 1989.

BALDWIN, D.F. et al. An Integrated Computer Aid for Generative and Evaluating Assembly Sequences for Mechanical Products. *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, V.7, N.1, p.78-94, 1991.

BERLINER, C. e BRIMSON, J. A. Gerenciamento de Custos em Indústrias Avançadas. São Paulo: T.A. Queiroz (editor), 1992, 256p.

CHRYSSOLOURIS, G. e WRIGHT, K. Knowledge-Based Systems in Manufacturing. *Annals of the CIRP*, V.35, N.2, p.437-440, 1986.

DAVIES, B.J. e DARBYSHIRE, I.L. The use of Expert Systems in Process-Planning. *Annals of the CIRP*, V.33, N.1, p.430-433, 1984.

EMERSON, C. e HAM, I. An Automated Coding and Process Planning System Using a DEC PDP-10. *Computers and Industrial Engineering*, V.6, N.2, p.159-168, 1982.

EVERSHEIM, W. e SCHULZ, J. Structure and Application of a Universal Company-Independent Data Bank for Tools. *Annals of the CIRP*, V.34, N.2, p.321-325, 1985.

EVERSHEIM, W. et al. Changing Requirements for CAP Systems Lead to a New CAP Data Model. *Annals of the CIRP*, V.36, N.2, p. 321-326, 1987.

EVERSHEIM, W. et al. Requirements on Interfaces and Data Models for NC Data Transfer in View of Computer-Integrated Manufacturing. *Annals of the CIRP*, V.38, N.1, p.443-446, 1989.



EVERSHEIM, W. e SCHNEEWIND, J. CAPP - State of the Art and Future Development. *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, V.10, N.1/2, p.65-70, 1993.

GIUSTI, F. et al. COATS: An Expert Module for Optimal Tool Selection. *Annals of the CIRP*, V.35, N.1, p.337-340, 1986.

GROOVER, M.P. e ZIMMERS Jr, E.W. *CAD/CAM: Computer-Aided Design and Manufacturing*. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1984, 489p.

HAM, I. Group Technology Applications for Computer-Integrated Manufacturing. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, V.1, N.3/4, p.231-235, 1984.

HAM, I. et al. An Integrated approach to Group Technology Part Family Database Design based on Artificial Intelligence. *Annals of the CIRP*, V.37, N.1, p.433-438, 1988.

HAM, I. e LU, S.C.Y. Computer-Aided Process Planning: The Present and the Future. *Annals of the CIRP*, V.37, N.2, p.591-601, 1988.

HAX, A.C. e MAJLUF, N.S. *Strategic Management: An Integrative Perspective*. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1984, 467p (cit. in p.183).

HEAD, G.O. *AutoLISP in Plain English*, Chapel Hill: Ventana Press, 1989, 226p.

HERMAN, A. et al. An Opportunistic Approach to Process Planning within a Concurrent Engineering Environment. *Annals of the CIRP*, V.42, N.1, p.545-548, 1993.

HOUTZEEL, A. The Micclass System. *Proceedings of CAM-I Executive Seminar - Coding, Classification, and Group Technology for Automated Planning*, Arlington, Texas, EUA, 1976 apud ALTING, L. e ZHANG, H. *Computer Aided Process Planning: The State-of-the-Art Survey*. *International Journal of Production Research*, V.27, N.4, p.553-585, 1989.

HYER, N.L. e WEMMERLOV, U. *Group Technology and Productivity*. *Harvard Business Review*, V.62, N.4, p.140-149, 1984.

KOTLER, P., *Administração de Marketing*, São Paulo: Atlas, 1993, 848p.

LIN, L. e BEDWORTH, D.D. A Semi-Generative approach to Computer-Aided Process Planning using Group Technology. *Computers and Industrial Engineering*, V.14, N.2, p.127-137, 1988.

LINK, C.H. CAPP/CAM-I Automated Process Planning System. Proceedings of the 1976 NC Conference, Arlington, Texas, EUA apud ALTING, L. e ZHANG, H. Computer Aided Process Planning: The State-of-the-Art Survey. International Journal of Production Research, V.27, N.4, p.553-585, 1989.

LUBBEN, R.T. Just-In-Time: Uma Estratégia Avançada de Produção. São Paulo: McGraw Hill, 1989, 301p.

MADURAI, S.S. e LIN, L. Rule-Based Automatic Part Feature Extraction and Recognition from CAD data. Computers Industrial Engineering, V.22, N.1, p.49-62, 1992.

MAJOR, F. e GROTTKE, W. Knowledge Engineering within Integrated Process Planning Systems. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, V.3, N.2, p.209-213, 1987.

MITROFANOV, S.P. Nauchniye Osnovy Groupovoi Technologii (Princípios Científicos da Tecnologia de Grupo), Linzdat Edition, Leningrado apud SHIKO, G., A Process Planning - Orientated approach to Part Family formation Problem in Group Technology Applications. International Journal of Production Research, V.30, N.8, p.1739-1752, 1992.

MOSENG, B. The Process Planner's Work Place Today and Tomorrow. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, V.1, N.3/4, p.237-244, 1984.

NAISBITT, J. Paradoxo Global, Rio de Janeiro: Campus, 1994, 333p.

NIEBEL, B.W. Mechanized Process Selection for Planning New Designs, ASME Paper N.737, 1965 apud ALTING, L. e ZHANG, H. Computer Aided Process Planning: The State-of-the-Art Survey, International Journal of Production Research, V.27, N.4, p.553-585, 1989.

PROVENZA, F. Desenhista de Máquinas, São Paulo: Pro-Tec, 251p, 1986.

RAPP, S. e COLLINS, T. Maximarketing. São Paulo: McGraw-Hill, 345p, 1988.

SCHAFFER, G.H. Implementing CIM. American Machinist, agosto, 1981, p.151-174, apud GROOVER, M.P. e ZIMMERS Jr, E.W. CAD/CAM: Computer-Aided Design and Manufacturing, Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 489p (cit. in p.351).

SCHENK, D.E. Feasibility of Automated Process Planning, Tese de PhD, Purdue University, 1966 apud ALTING, L. e ZHANG, H. Computer Aided Process Planning: The State-of-the-Art Survey. International Journal of Production Research, V.27, N.4, p.553-585, 1989.

SHUNK, D.L. Group Technology Provides Organized approach to Realizing Benefits of CIMS. *Industrial Engineering*, V.17, N.4, p.74-80, 1985.

SLUGA, A. et al. An Attempt to Implement Expert System Techniques in CAPP. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, V.4, N.1/2, p.77-82, 1988.

SMITH, J.S. et al. Process Plan Generation for Sheet Metal Parts Using an Integrated Feature-Based Expert System Approach. *International Journal of Production Research*, V.30, N.5, p.1175-1190, 1992.

SSEMAKULA, M.E. Process Planning System in the CIM Environment. *Computers Industrial Engineering*, V.19, N.1-4, p.452-456, 1990.

STEUDEL, H.J. Computer-Aided Process Planning: Past, Present and Future. *International Journal of Production Research*, V.22, N.2, p.253-266, 1984

TOFLER, A. *A terceira Onda*, Rio de Janeiro, Record, 1980, 491p.

TÖNSHOFF, H.K. e ANDERS, N.. Survey of Development and Trends in CAPP Research within CIRP. *Annals of the CIRP*, V.39, N.2, p.707-710, 1990.

TUFFENTSAMMER, K. e ARNDT, G. The Influence of NC Flexibility on the Concept of Group Technology. *Annals of the CIRP*, V.32, N.1, p.411-416, 1983.

WANG, H.P. e WISK, R.A. Applications of Microcomputers in Automated Process Planning. *Journal of Manufacturing Systems*, V.5, N.2, apud ALTING, L. e ZHANG, H. *Computer Aided Process Planning: The State-of-the-Art Survey*. *International Journal of Production Research*, V.27, N.4, p.553-585, 1989.

WEILL, R. et al. Survey of Computer-Aided Process Planning Systems. *Annals of the CIRP*, V.31, N.2, p.539-550, 1982.

WISK, R.A. An Automated Process Planning and Selection Program: APPAS, Tese de PhD, Purdue University, 1977 apud ALTING, L. e ZHANG, H. *Computer Aided Process Planning: The State-of-the-Art Survey*. *International Journal of Production Research*, V.27, N.4, p.553-585, 1989.

WOLFE, P.M. Computer-Aided Process Planning is Link between CAD and CAM. *Industrial Engineering*, V.17, N.8, p.72-77, 1985.

ZEMKE, R. e SCHAAF, D. *A Nova Estratégia do Marketing*, São Paulo, Harbra, 1991, 466p.

## **Bibliografia Consultada**

ABDOU, G. e CHENG, R. TVCAPP, Tolerance Verification in Computer-Aided Process Planning. *International Journal of Production Research*, V.31, N.2, p.393-411, 1993.

ALTING, L. Integration of Engineering Functions/Disciplines in CIM. *Annals of the CIRP*, V.35, N.1, pp.317-320, 1986.

AMMONS, J. et al. Computer-Aided Process Planning in Printed Circuit Card Assembly. *IEEE Transactions on Components, Hybrids, and Manufacturing Technology*, V. 16, N.4, p.370-376, 1993.

BURBIDGE, J. L. Change to Group Technology: Process Organization is Obsolete. *International Journal of Production Research*, V.30, N.5, p.1209-1219, 1992.

CAULLIRAUX, H. M. Estratégias de Produção e Automação: Formulação e Análise, Tese de Doutorado, Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, orientador: Prof. Marcos A. da Silveira, abril, 1990, 208p.

CHEN, C-S. Form Feature Oriented Coding Scheme, *Computer Industrial Engineering*. V.17, N.1-4, p.227-233, 1989.

CHIANG, P-T et al. Development of a Process Determination and Sequencing Technique for a Manufacturing System. *International Journal of Production Research*, V.29, N.3, p.513-535, 1991.

CHU, Q. Q. A CAD/CAM System for Typical Component in Mechanical Structure Design, *Annals of the CIRP*, V. 36, N.1, p. 61-64, 1987.

COLQUHOUN, G. J. e BAINES, R. W. A Generic IDEFo Model of Process Planning. *International Journal of Production Research*, V.29, N.11, p.2239-2257, 1991.

DELBRESSINE, P. L. M. e Van Der WOLF, A. C. H. Integrating Design and Manufacturing. *Annals of the CIRP*, V. 39, N.1, p.149-152, 1990.

DEKLEVA, J. et al. Extended Production Flow Analysis, Robotics & Computer-Integrated Manufacturing. V.4, N.1/2, p.63-68, 1988.

EIMaraghy, H. et al. Evolution and Future Perspectives of CAPP. Annals of the CIRP, V.42, N.2, p.739-751, 1993.

HERMAN, A. et al. An Opportunistic Approach to Process Planning within a Concurrent Engineering Environment. Annals of the CIRP, V.42, N.1, p.545-548, 1993.

GIUSTI, F. et al. KAPLAN: A Knowledge-Based Approach to Process Planning of Rotational Parts. Annals of the CIRP, V.38, N.1, p.481-484, 1989.

GUPTA, T. et al. Expert System Approach in Process Planning - Current Development and it's Future. Computers in Industry, V.22, N.1, p.15-23, 1993.

HASSELT, R. V. e OUDOLF, W. J. Computer Aided Work Planning for Simple Sheet Components. Annals of the CIRP, V.22, N.1, p.159-160, 1973.

HOU, T-H. et al. Integration of a CAPP System and an FMS. Computers Industrial Engineering, V.20, N.2, p.231-242, 1991.

HOUTEN, F. J. A. M. V. Manufacturing interfaces. Annals of the CIRP, V.41, N.2, p. 699-710, 1992.

IWATA, K. et al. Knowledge-Based Flexible Part Classification System for CAD/CAM. Annals of the CIRP, V.36, N.1, p.317-332, 1987

JOSHI, S. B. et al. Design, Development and Implementation of an Integrated Group Technology and Computer Aided Process Planning System. IIE Transactions, Julho, p. 2-18, 1994.

KASTELIC, S. et al. Conceptual Design of a Relational Data Base for Manufacturing Processes. Annals of the CIRP, V.42, N.1, p.493-496, 1993.

KING, J. R. Machine-Component Grouping in Production Flow Analysis: An Approach using a Rank Order Clustering Algorithm. International Journal of Production Research, V.18, N.2, p.213-232, 1980.

LI, R-K. e BEDWORTH, D. A Framework for the Integration of Computer-Aided Design and Computer-Aided Process Planning. Computers Industrial Engineering, V.14, N.4, p.395-413, 1988.

MALAKOOTI, B. e DEVIPRASAD, J. A Decision Support System for Computer-Aided Process Planning. Computers in Industry, V.9, pp.127-132, 1987.

MALAKOOTI, B. e BALHORN, W. H. Selection of Acceptance Sampling Plans with Multi-Attribute Defects in Computer-Aided Quality Control. *International Journal of Production Research*, V.25, N.6, p.869-887, 1987.

McAULEY, J. Machine Grouping for Efficient Production. *The Production Engineer*, Fevereiro, 1972, p. 53-56.

MISHRA, P. K. e PANDEY, P. C. Simulation Studies of Flexible Manufacturing Systems using Statistical Design of Experiments. *Computers Industrial Engineering*, V.16, N.1, p.65-74, 1989.

MISKA, K. H. The New Mavens of Manufacturing. *Manufacturing Engineering*, Outubro, 1989, p.36-39.

NESTMAN, C. H. e WINDSOR, J. C. Decision Support Systems: A Perspective for Industrial Engineers. *IIE Transactions*, V.17, N.1, p. 38-46, 1985.

PEGDEN, D. e HAM, I. Simulation of Manufacturing Systems using SIMAN. *Annals of the CIRP*, V.31, N.1, p.365-369, 1982.

RAJAGOPALAN, R. e BATRA, J. L. Design of Cellular Production Systems - A Graph-Theoretic Approach. *International Journal of Production Research*, V. 13, N.6, p.567-579, 1975.

ROSA, J. M. D. Uma Contribuição para a Integração CAD/CAPP. Dissertação de Mestrado, UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina, orientador: Prof. Ph.D. Abelardo A. de Queiroz, Outubro, 1989, 133p.

SADOWSKI, R. P. CIM Series will Apply Systems Approach to Factory of Future. *Industrial Engineering*, V.16, N.1, p.35-40, 1984.

SHIKO, G. A Process Planning-Orientated Approach to Part Family Formation Problem in Group Technology Applications. *International Journal of Production Research*, V.30, N.8, p.1739-1752, 1992.

SSEMAKULA, M. E. et al., Prospects of Process Sequence Optimization in CAPP Systems, *Computers Industrial Engineering*, V.16, N.1, pp. 161-170, 1989.

SSEMAKULA, M.E. e SATSANGI, A. Application of PDES to CAD/CAPP Integration. *Computers Industrial Engineering*, V.18, N.4, p.435-444, 1990.

SPUR, G. Growth, Crisis and Future of the Factory. *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, V.1, N.1, p.21-37, 1984.

WANG, H-P. e WYSK, R. A. AIMSI: A Prelude to a New Generation of Integrated CAD/CAM Systems. International Journal of Production Research, V.26, N.1, p.119-131, 1988.