

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

CARACTERÍSTICAS DESEJÁVEIS PARA A IMPLANTAÇÃO E O EMPREGO DE
SISTEMAS CAE/CAD/CAM NO SETOR DE MOLDES
DE INJEÇÃO DE PLÁSTICOS

TESE SUBMETIDA À UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM ENGENHARIA MECÂNICA

CARLOS HENRIQUE AHRENS

FLORIANÓPOLIS, MARÇO DE 1994.

CARACTERÍSTICAS DESEJÁVEIS PARA A IMPLANTAÇÃO E O EMPREGO DE
SISTEMAS CAE/CAD/CAM NO SETOR DE MOLDES
DE INJEÇÃO DE PLÁSTICOS

CARLOS HENRIQUE AHRENS

ESTA TESE FOI JULGADA PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE

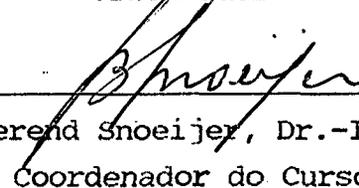
"DOUTOR EM ENGENHARIA"

ESPECIALIDADE: ENGENHARIA MECÂNICA E APROVADA EM SUA FORMA FINAL
PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA



Prof. Aureo Campos Ferreira, Ph.D.

Orientador



Prof. Berend Snoeijer, Dr.-Ing.

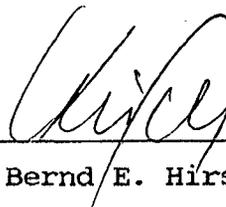
Coordenador do Curso

BANCA EXAMINADORA:

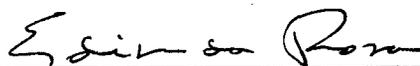


Prof. Aureo Campos Ferreira, Ph.D.

Presidente



Prof. Bernd E. Hirsch, Dr.-Ing.



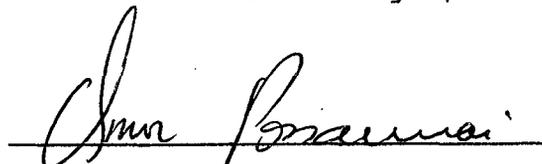
Prof. Edison da Rosa, Dr. Eng.



Prof. Francisco E. B. Nigro, Ph.D.



Prof. João Carlos E. Ferreira, Ph.D.



Prof. Osmar Possamai, Ph.D.

"A Amizade, o Carinho e o Amor

são realmente as coisas mais importantes a serem cultivadas"

Ernesto Guilherme Ahrens

À Kátia,

pelo amor, paciência, incentivo e abdicação
de longos períodos em que poderíamos estar
juntos.

À Marina e ao Gabriel,

pelos momentos em que não pude me dedicar a
eles como o pai e o amigo que desejavam.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Aureo C. Ferreira, que acima de orientador, sempre se mostrou um amigo não medindo esforços para que esta longa e difícil etapa pudesse ser vencida;

Aos colegas do GRUCON, em especial ao pessoal do grupo CIMJECT, pelas discussões empolgantes sobre o tema do trabalho;

Ao Prof. Hirsch e ao Sr. Arnaldo Matos pela oportunidade que me foi concedida de realizar grande parte de minhas pesquisas nas instalações do Instituto BIBA, na Alemanha, e da Empresa Moldes Matos Ltda., em Portugal;

Aos amigos do Instituto BIBA, pelos momentos de descontração;

Ao DAAD, CAPES, CNPq e Programa RHAE, pelo apoio financeiro;

À Deus, por me acompanhar durante toda a minha vida.

ÍNDICE

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

1.1.Considerações iniciais.....	1
1.2.Objetivos do trabalho e metodologia empregada	4
1.3.Estrutura do trabalho.....	7

CAPÍTULO II

CONSIDERAÇÕES SOBRE A INDÚSTRIA DE MOLDES DE INJEÇÃO PARA
PRODUTOS DE PLÁSTICO

2.1.Considerações iniciais	9
2.2.Características peculiares do setor.....	12
2.3.Processo convencional de fabricação	15
2.3.1.Visão geral das principais etapas e atividades	15
2.3.2.Dificuldades e limitações	19

CAPÍTULO III

O PROJETO E A FABRICAÇÃO DE MOLDES DE INJEÇÃO AUXILIADOS
POR COMPUTADOR

3.1.Considerações gerais	21
3.2.Descrição global do processo via sistemas CAx	22

CAPÍTULO IV

UMA AVALIAÇÃO DOS PROBLEMAS E DIFICULDADES REFERENTES À
IMPLANTAÇÃO DE SISTEMAS CAx NO SETOR DE MOLDES DE INJEÇÃO

4.1.Dificuldades intrínsecas ao setor.....	26
4.2.Dificuldades intrínsecas aos sistemas CAx.....	27

CAPÍTULO V

CONCLUSÕES

5.1.Considerações finais 30

5.2.Sugestões para novos trabalhos 35

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 37

APÊNDICE A - Sistemas CAx para o setor de moldes de

injeção: Manual de Orientação 55

LISTA DE FIGURAS E TABELAS

TESE*Figuras*

- Figura 1.1 -** Exemplos de justificativas favoráveis à implantação de sistemas CAx apresentadas pelo setor de moldes (página 3).
- Figura 2.1 -** Características de empresas fabricantes de moldes de injeção (página 12).
- Figura 2.2 -** Distribuição percentual do número de trabalhadores existentes em empresas fabricantes de moldes de injeção para produtos de plástico no Brasil (página 14).
- Figura 2.3 -** Principais etapas envolvidas no projeto e na fabricação de moldes de injeção, pelo processo convencional (página 17).
- Figura 3.1 -** Exemplo ilustrativo das pressões que o setor de moldes vêm sofrendo quanto as mudanças nos processos de fabricação (página 22).
- Figura 3.2 -** Principais etapas do desenvolvimento de moldes de injeção, pelo processo via sistemas CAx (página 23).
- Figura 4.1 -** Distribuição percentual dos processos de fabricação mais empregados pela indústria de moldes de injeção de plásticos alemã, em 1990 (página 28).

Tabelas

- Tabela 2.1** - Distribuição do consumo de plástico entre países do continente americano, em 1992 (página 10).
- Tabela 2.2** - Distribuição percentual, de máquinas convencionais e CNC, nas ferramentarias brasileiras (página 15).

APÊNDICE A*Figuras*

- Figura A.1** - Esquema representativo das formas básicas de modelamento em sistemas CAx (página 64).
- Figura A.2** - Exemplos de superfícies do tipo (a) "ruled surface" e (b) "freeform surface" (página 68).
- Figura A.3** - Exemplos de superfícies de revolução, obtidas a partir da rotação de uma curva (perfil) 2D (página 68).
- Figura A.4** - Representação de uma superfície obtida pela "extrusão" de uma curva (perfil) 2D (página 69).
- Figura A.5** - Geometrias 3D básicas conhecidas por primitivas (páginas 70).

- Figura A.6** - Exemplo de operações booleanas no modelamento de sólidos (página 71).
- Figura A.7** - Comparação entre modeladores de sólidos, de superfícies e "wireframe" (página 72).
- Figura A.8** - Representação dos diferentes tipos de resultados obtidos através de modeladores de geometria 3D (página 72).
- Figura A.9** - Exemplo que caracteriza a função "Window" (página 74).
- Figura A.10** - Exemplo para caracterizar a função "Zoom" sendo (a) definição da área a ser ampliada e (b) visualização após a função ter sido executada (página 75).
- Figura A.11** - Exemplo da filosofia de modelamento através de "layers" (página 76).
- Figura A.12** - Exemplo de visualização de uma peça de plástico, modelada em um sistema CAD, (a) sem e (b) com recursos de "shading" (página 78).
- Figura A.13** - Principais etapas envolvidas na produção de moldes de injeção, pelo processo via sistemas CAx, enfatizando a fase de concepção do molde (página 80).
- Figura A.14** - Principais etapas envolvidas na produção de moldes de injeção, pelo processo via sistemas CAx, enfatizando as fases de projeto e fabricação dos moldes (página 81).

- Figura A.15** - Áreas de aplicação de sistemas CAE no setor de moldes de injeção para termoplásticos (página 82).
- Figura A.16** - (a) Representação da verificação de escoamento do plástico através do processo de injeção progressiva e (b) distribuição de linhas isocrônicas (página 84).
- Figura A.17** - Representação simplificada do modelamento de superfícies médias para a realização de análises reológicas em sistemas CAE (página 84).
- Figura A.18** - Exemplo de uma peça/cavidade modelada, em um sistema CAE, (a) antes e (b) após ter sido gerada a malha de elementos finitos (página 85).
- Figura A.19** - Exemplo de um modelamento de circuito de refrigeração, para a realização de análises térmicas em moldes de injeção, através de programas de sistemas CAE (página 86).
- Figura A.20** - Exemplo de superfícies complementares geradas através de recursos de "filleting" (página 91).
- Figura A.21** - Exemplo de superfície complementar gerada através de recursos de "blending" (página 92).
- Figura A.22** - Exemplo do resultado de modelamento de superfícies onde foram empregados recursos de "trimming" (página 93).

- Figura A.23** - Exemplo de etapas de modelamento de superfícies, para a obtenção do plano de abertura do molde (página 93).
- Figura A.24** - Exemplos de geometrias de fresas (a) normalmente disponíveis e (b) possíveis de serem definidas pelo usuário, em bancos de ferramentas de sistemas CAM (página 96).
- Figura A.25** - Exemplos de estratégias de usinagem para operações de desbaste (página 96).
- Figura A.26** - Exemplo de estratégia de usinagem para operação de acabamento (página 97).
- Figura A.27** - Exemplos de (a) tipos de estratégias de usinagem geradas sobre um plano (2D) e (b) trajetória de usinagem obtida a partir da projeção de uma estratégia 2D (página 98).
- Figura A.28** - Exemplo do resultado de uma simulação realizada através de recursos de "wireframe" (página 99).
- Figura A.29** - Exemplo do resultado de uma simulação realizada através de recursos de modelamento de sólidos (página 99).
- Figura A.30** - Conceito referente a troca de informações de modelamento, entre sistemas CAx, através de interfaces neutras padronizadas (página 101).

- Figura A.31** - Visão global da evolução do desenvolvimento das principais interfaces e especificações de transferência de informações entre sistemas CAx (página 103).
- Figura A.32** - Exemplo de um sistema de classificação/codificação para o projeto de moldes de injeção via CAD (página 108).
- Figura A.33** - Exemplo de metodologia para garantir a segurança dos dados gerados via sistemas CAx (página 109).
- Figura A.34** - Representação básica da (a) filosofia departamentalizada e (b) filosofia de Engenharia Simultânea ou Concorrente (página 110).
- Figura A.35** - Exemplo de escala de planejamento, a ser adotada para a implantação de tecnologias CAD/CAM em uma empresa de moldes alemã (página 112).
- Figura A.36** - Procedimentos gerais recomendados para a escolha e posterior aquisição de sistemas CAx (página 113).
- Figura A.37** - Exemplo para caracterizar o modelamento utilizando recursos de parametrização (página 126).
- Figura A.38** - Exemplo para caracterizar a técnica de modelamento com recursos de associatividade em operações (a) com hachuras e (b) de cotagem (página 127).

- Figura A.39** - Peça/cavidade utilizada como modelo para avaliação em testes de Benchmark por uma empresa de moldes alemã (página 128).
- Figura A.40** - Exemplo de simplificação da geometria da peça/cavidade a ser adotada para um modelamento no sistema CAE (página 133).
- Figura A.41** - Exemplo de simplificação da geometria dos canais de injeção para um modelamento no sistema CAE (página 133).
- Figura A.42** - Exemplo de uma malha de elementos finitos com problemas de má formação dos elementos (página 138).
- Figura A.43** - Representação dos componentes básicos de um molde do tipo "Standard" (página 145).
- Figura A.44** - Exemplo do resultado de um desenho de um molde, via recursos de bibliotecas gráficas, mostrando a intersecção entre linhas que definem o extrator e placas (página 148).
- Figura A.45** - Exemplo de uma mesma superfície, modelada para usinar o macho e a fêmea, a partir do reposicionamento através de recursos do sistema CAD (página 152).
- Figura A.46** - Exemplo de uma peça modelada (a) e (b) sem considerar ângulos de saída e (c) remodelamento das superfícies principais considerando ângulos de saída (obs: os "fillets" mostrados em (b) terão de ser recalculados) (página 154).

- Figura A.47** - Exemplo de problema que surge no remodelamento para considerar ângulos de saída (página 155).
- Figura A.48** - Exemplo de uma peça/cavidade (a) antes e (b) depois da separação das regiões a serem usinadas separadamente (página 157).
- Figura A.49** - Exemplo de descontinuidade de trajetórias de usinagem devido a um modelamento sem considerar critérios de usinagem (página 159).
- Figura A.50** - Exemplo de uma superfície extra, não pertencente ao modelo da peça de plástico, mas necessária para o modelo da cavidade (página 159).
- Figura A.51** - Exemplo de arredondamento de cantos formados pelo encontro de 3 superfícies (página 161).
- Figura A.52** - Representação da tolerância de usinagem para o cálculo de trajetórias de ferramentas, em sistemas CAM (página 162).
- Figura A.53** - Representação da sobra de material e da distância entre passes, para o cálculo de trajetórias de ferramentas, em sistemas CAM (página 164).
- Figura A.54** - Representação da distância equidistante ("thick") para o cálculo de trajetórias de ferramentas, em sistemas CAM (página 164).
- Figura A.55** - Exemplo de uma máscara a ser preenchida com informações a respeito do planejamento do processo de usinagem, em sistemas CAM (página 155).

- Figura A.56** - Exemplo de um módulo para simulação gráfica de trajetórias de ferramentas, com recursos de "shading" e identificação de erros de usinagem (página 168).
- Figura A.57** - Exemplo representativo de recursos de "trimming", aplicados em trajetórias de usinagem (página 169).
- Figura A.58** - Exemplos de problemas típicos que podem ocorrer na transferência de informações geométricas entre sistemas CAx, através do emprego de interfaces neutras (página 173).
- Figura A.59** - Etapas do processo de transferência de informações de modelamento entre sistemas CAx, na indústria de moldes de injeção (página 176).
- Figura A.60** - Exemplos de "Icons", empregados em sistemas CAx, para representar funções de manipulação de arquivos, modelamento e estratégias de usinagem (página 181).
- Figura A.61** - Visão geral dos principais módulos CAx necessários para uma produção de moldes de injeção via sistemas CAE, CAD e CAM (página 183).
- Figura A.62** - Comparação entre os processos de fresamento simultâneo em 3 e 5 eixos de usinagem (página 194).
- Figura A.63** - Esquema representativo do princípio de funcionamento do processo de estereolitografia (página 197).

Tabelas

- Tabela A.I -** Exemplos de sistemas CAx comercializados no Brasil (página 62).
- Tabela A.II-** Alguns sistemas CAx comercializados no exterior, além dos apresentados na Tabela A.I (página 63).
- Tabela A.III-** Exemplos de programas CAE, para a área de moldes de injeção, disponíveis no mercado internacional (página 88).
- Tabela A.IV-** Alguns fornecedores de acessórios padronizados para a construção de moldes de injeção que dispõem de bibliotecas gráficas em sistemas CAD (página 90).
- Tabela A.V-** Informações referentes à Banco de Dados de materiais poliméricos (página 140).

GLOSSÁRIO DE SIGLAS

SIGLA	SIGNIFICADO ORIGINAL	PORTUGUÊS
CAE	Computer Aided Engineering	Engenharia Auxiliada por Computador
CAD	Computer Aided Design	Projeto Auxiliado por Computador
CAPP	Computer Aided Process Planning	Planejamento do Processo Auxiliado por Computador
CAM	Computer Aided Manufacturing	Manufatura Auxiliada por Computador
CAX		Termo geral que significa qualquer uma das siglas CAE, CAD, CAPP e/ou CAM
CIM	Computer Integrated Manufacturing	Manufatura Integrada por Computador
NC	Numerical Control	Comando Numérico
CNC	Computerized Numerical Control	Comando Numérico Computadorizado
DNC	Direct Numerical Control	Comando Numérico Direto
FEM	Finite Element Method	Método de Elementos Finitos
CMM	Coordinate Measuring Machine	Máquina de Medir por Coordenadas
CSG	Constructive Solid Geometry	
IGES	Initial Graphics Exchange Specification	
DXF	Autodesk Data Exchange Format	

GLOSSÁRIO DE SIGLAS
(continuação)

SIGLA	SIGNIFICADO ORIGINAL	PORTUGUÊS
VDA-FS	Verband der Automobilindustrie - Flächenschnittstelle	
FFFF	Fast Free Form Fabrication	
LMT	Layer Manufacturing Technologies	
ASCII	American Standard Code for Information Interchange	
DIN	Deutsche Industrie Normen	

RESUMO

Neste trabalho é feita uma abordagem sobre o estado-da-arte com relação à utilização de sistemas CAE, CAD e CAM no setor de moldes de injeção para peças de plástico.

Através da elaboração de um Manual de Orientação sobre o assunto, são apresentados conceitos básicos, referentes a tecnologias CAx, detalhando as fases do processo de desenvolvimento de um molde onde já é possível obter o auxílio destas tecnologias.

Além disso, são apresentadas considerações visando orientar a implantação de sistemas CAx, bem como é feita uma abordagem sobre problemas e dificuldades inerentes ao emprego de sistemas CAE, CAD e CAM, em empresas de moldes de injeção, baseada na análise de estudos de casos, análise de artigos especializados e projetos da comunidade européia, bem como relatos de experiências industriais.

Concluindo, são apresentadas as características básicas que devem estar presentes em um sistema CAx tipicamente voltado para atender o referido setor.

ABSTRACT

In this research work it is presented an approach about the state-of-the-art in CAE, CAD and CAM systems being used in the area of injection moulding for plastic (thermopolymer) components.

The basic concepts of CAx technology, detailing the phases of the process to develop the mould, where it is already possible to use this technology, is presented in a "Guide Book" format.

Based on the analysis of case studies, specialized papers, European Community projects and reports of industrial experiences, additional considerations are also presented in order to guide the implementation of CAx systems, as well as to give an approach to the problems and difficulties inherent to the application of CAE, CAD and CAM systems to injection mould companies.

To conclude, the basic characteristics that CAx systems, typically dedicated to support this area, must have, are presented.

CAPÍTULO I

Introdução

1.1. Considerações iniciais

O surgimento das primeiras empresas fabricantes de moldes de injeção para produtos de plástico (também denominados de matrizes ou ferramentas de injeção), ocorreu no começo deste século, a partir de empresas fabricantes de moldes de compressão [01]. Algumas surgiram a partir de grupos de trabalhadores de fábricas de moldes para vidro, como foi o caso de diversas empresas de moldes portuguesas [02, 03] e outras, principalmente após o término da 2ª Guerra Mundial [02], marcando o início do crescimento acentuado da produção de peças de plástico [01].

No Brasil, algumas empresas surgiram em função da vinda de trabalhadores imigrantes do continente europeu, mais provavelmente, de Portugal, da Alemanha e da Itália, países onde a indústria de moldes, ainda nos dias de hoje, ocupa uma posição de destaque no mercado internacional [04].

A partir dos anos 60, devido ao crescente interesse por produtos de plástico, principalmente, para a produção de brinquedos e de peças com tolerância dimensional não muito apertadas, o setor de moldes passou a ter cada vez mais

importância no meio industrial. A falta de pessoal qualificado para operar as máquinas convencionais (processos de torneamento, fresamento, furação e retífica) forçou o setor a buscar novas alternativas de fabricação, mais fáceis, que pudessem absorver uma mão-de-obra menos qualificada [05, 06]. Assim, surgiram e foram aprimoradas diversas técnicas como, por exemplo, fundição em cerâmica, cunhagem, usinagem por cópia de modelos físicos e mais recentemente, usinagem por eletroerosão, para citar algumas.

A partir dos anos 80, o consumo de produtos de plástico tornou-se cada vez maior. **Exigências impostas** por um mercado, cada vez mais competitivo, tais como, **ciclos de produção mais curtos, produtos com maior complexidade geométrica e de melhor qualidade** [07], passaram a obrigar as empresas, deste setor, a rever os métodos usados para o projeto e a fabricação dos moldes.

O sucesso do emprego de máquinas NC e CNC, bem como, de sistemas CAD/CAM, em outras áreas industriais, despertou o interesse do setor por estas tecnologias, que passaram a ser implantadas, inicialmente, em algumas grandes empresas de moldes dos países desenvolvidos. Mais recentemente, pequenas e médias empresas, do mundo inteiro, também começaram a demonstrar o mesmo interesse (inclusive no **Brasil**, onde o setor de moldes de injeção vem tendo um acentuado crescimento, principalmente a partir do final dos anos 80/início dos anos 90, período este marcado pelo surgimento de novos mercados produtores de moldes [08, 09]).

A **expectativa do setor**, principalmente das empresas que atuam nos novos mercados produtores, com relação a implantação de tecnologias CAx, é bastante grande no sentido de assegurar a competitividade através dos seguintes fatores [10, 11, 12]:

- Melhorar a qualidade e reduzir os custos dos moldes;
- Reduzir os tempos de fabricação, diminuindo, conseqüentemente os prazos de entrega dos moldes para os clientes;
- Tornar mais eficiente a comunicação (troca de informações de projeto) com seus clientes;
- Possibilitar a produção de peças consideradas complexas.

Por outro lado, o setor apresenta outras justificativas também favoráveis à implantação de tecnologias CAx (Figura 1.1).

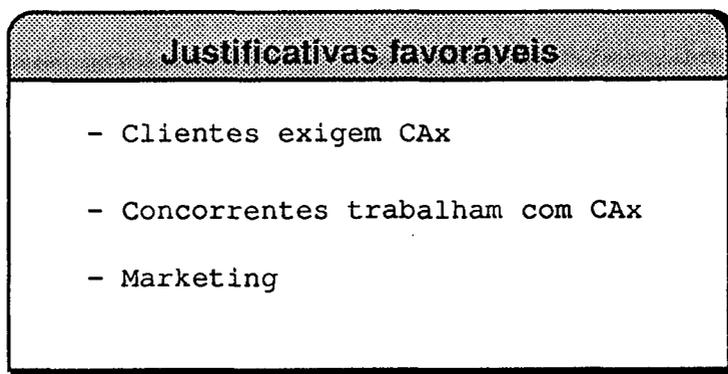


Figura 1.1 - Exemplos de justificativas favoráveis à implantação de sistemas CAx apresentadas pelo setor de moldes [13, 14, 15].

Sob o ponto de vista de concorrência, tais justificativas são válidas. Entretanto, quando consideradas isoladamente, demonstram, em parte, a falta de orientação do setor, em relação às implicações envolvidas no processo de mudança para a tecnologia CAx.

No esforço de se manterem competitivas, dentro de um contexto onde vivem sob constantes pressões (por parte de seus clientes e concorrentes, no sentido de investirem em modernas tecnologias) e diante de um mercado caracterizado pela oferta cada vez maior de sistemas CAE, CAD e CAM, muitas empresas de moldes têm se defrontado com inúmeras **dúvidas e incertezas**. Estas, são as mais diversas possíveis, que aparecem principalmente devido aos seguintes fatores [14, 16, 17]:

- Alto risco associado aos **elevados investimentos** que são necessários para empregar sistemas CAx;
- **Escassez de pessoal qualificado** e bem treinado para utilizar a tecnologia CAx;
- **Falta de informação** mais detalhada a respeito da tecnologia CAx e de suas implicações.

Assim, os fabricantes de moldes vivem uma dura realidade. Atendem às pressões do mercado, investindo nas modernas tecnologias CAx ou dificilmente terão chances de se manterem competitivos [10, 18, 19, 20, 21].

1.2. Objetivos do trabalho e metodologia empregada

Em função da **necessidade** de maiores informações a respeito do emprego de sistemas CAX no setor de moldes de injeção e devido a uma carência muito grande de literatura nacional sobre o assunto, o presente trabalho tem por **objetivo principal** fazer uma abordagem geral sobre importantes aspectos referentes ao emprego desta tecnologia. Através da elaboração de um "**documento de orientação**", para empresas, instituições de ensino, profissionais e interessados em geral sobre o tema, o trabalho visa:

- Mostrar o estado-da-arte no emprego de sistemas CAX em empresas de moldes de injeção;
- Facilitar a compreensão e o aprendizado sobre o emprego de sistemas CAX para este setor;
- Dar uma orientação clara e objetiva sobre os aspectos que devem ser considerados para implantar sistemas CAX na área;
- Orientar e facilitar a seleção do sistema CAX mais adequado para as necessidades peculiares da área de moldes de injeção de plásticos;
- Fornecer um conjunto de informações sobre as principais dificuldades que existem no emprego de sistemas CAX, que limitam a sua eficiente utilização na indústria de moldes;
- Fornecer uma indicação das características que devem estar presentes em sistemas CAX, voltados para atender o setor de moldes de injeção.

Adicionalmente, este trabalho procura chamar a atenção para o fato de que, sem a urgente criação de um número maior de instituições/entidades de formação de mão-de-obra especializada, com conhecimentos direcionados para o emprego de tecnologias CAx, a implantação, adaptação e consolidação desta tecnologia, no setor de plásticos, dificilmente conseguirá trazer, a curto e médio prazos, os benefícios almejados.

Para alcançar os objetivos citados, parte das pesquisas foram realizadas no exterior (onde estudos relacionados ao emprego de sistemas CAE/CAD/CAM, para a área de plásticos e de moldes, em geral, já vêm sendo realizados há alguns anos) e complementadas no Brasil. Assim, foram feitas pesquisas na Alemanha, em particular, no instituto BIBA - "Bremer Institut für Betriebstechnik und angewandte Arbeitswissenschaft" junto à Universidade de Bremen e em Portugal, na empresa Molde Matos Ltda, localizada na cidade de Marinha Grande, onde se concentram mais de 150 empresas fabricantes de moldes de injeção para plásticos [22].

A **metodologia empregada**, para o desenvolvimento deste trabalho, procurou utilizar vários recursos, a saber:

- **Consultas bibliográficas** em literatura científica e tecnológica especializada;
- **Visitas a Feiras Internacionais, Congressos e Seminários;**
- **Contatos e entrevistas** com:
 - * Usuários de sistemas CAx do setor de moldes de injeção;
 - * Pessoal especializado em institutos de pesquisa/ensino e empresas fabricantes de moldes de injeção;

* Desenvolvedores (Software houses) e/ou fornecedores de sistemas CAx para a área de plásticos;

- Participação em projetos europeus relacionados com a problemática do tema proposto;
- Análise de estudos de casos de projeto e fabricação de moldes através do uso de sistemas CAx.

No Brasil, o trabalho foi complementado, através da análise de estudos de casos que foram realizados nos sistemas DUCT5 (CAD/CAM) e Moldflow (CAE), instalados no GRUCON - Grupo de Pesquisa e Treinamento em Comando Numérico e Automatização Industrial vinculado ao Departamento de Engenharia Mecânica, desta universidade.

1.3. Estrutura do trabalho

O presente trabalho está dividido em cinco capítulos, que apresentam uma abordagem geral sobre o setor de moldes de injeção para plásticos. O conteúdo da maioria dos capítulos apresenta uma introdução aos temas abordados no APÊNDICE A (Sistemas CAx para o setor de moldes de injeção: Manual de Orientação), contendo os principais assuntos relacionados com a implantação e o emprego de sistemas CAx.

Assim, este capítulo, além da apresentação dos objetivos do trabalho, aborda uma visão geral sobre a situação vivida pelo setor de moldes de injeção.

O Capítulo II apresenta as principais características que identificam as empresas de moldes de injeção para plásticos, tecendo considerações a respeito do processo convencional de fabricação de moldes, salientando suas limitações.

Um resumo sobre o processo de fabricação de moldes auxiliado por computador é apresentado no Capítulo III como uma introdução ao assunto, descrito em maiores detalhes, no Apêndice A.

O Capítulo IV apresenta uma introdução aos problemas e dificuldades com relação à implantação do processo, via sistemas CAx, no setor de moldes de injeção, assunto abordado mais detalhadamente no Apêndice A.

Finalizando, o Capítulo V, intitulado Conclusões, apresenta as considerações finais e algumas sugestões para novos trabalhos de pesquisa na área.

CAPÍTULO II

Considerações sobre a indústria de moldes de injeção para produtos de plástico

2.1. Considerações iniciais

A partir dos anos 80, o emprego de produtos de plástico, nas mais diversas áreas da sociedade moderna, tem tido um considerável crescimento. Isto pode ser facilmente constatado observando-se a parcela, deste material, que está presente nos diversos produtos que hoje se encontram disponíveis no mercado, tais como, recipientes para embalagens, utensílios domésticos, equipamentos eletro-eletrônicos, apenas para citar alguns. Mais recentemente, a crescente introdução de componentes de plástico na indústria automobilística, tem se encarregado de consolidar este material entre os mais utilizados pelo homem [23, 24, 25].

A nível internacional, os principais países consumidores são os Estados Unidos, o Japão e a Alemanha. O Brasil, acompanhando o crescimento mundial do consumo desta matéria prima, passou, nas últimas três décadas, de 35.000 para um consumo em torno de 1.500.000 toneladas, ao final dos anos 90 [26, 27], colocando-se em uma posição de destaque entre os países consumidores. A **Tabela 2.1** vem comprovar a afirmativa acima, mostrando o valor do consumo brasileiro, em 1992, comparado com o dos países do continente americano, segundo

dados fornecidos pelo IMPI - Instituto Mexicano del Plastico Industrial.

**CONSUMO DE PLÁSTICO EM PAÍSES AMERICANOS
1992**

PAÍS	1000Ton	%
Estados Unidos	27.000	78,2
Brasil	2.120	6,1
Canadá	1.950	5,6
México	1.330	3,8
Argentina	560	1,6
Venezuela	380	1,1
Colômbia	310	0,9
Chile	250	0,7
Outros	600	2,0
TOTAL	34.500	100,0

Fonte: IMPI

Tabela 2.1 - Distribuição do consumo de plástico entre países do continente americano, em 1992 [28].

De um modo geral, os fatores responsáveis pelo crescimento mundial do consumo deste material são [29, 30, 31]:

- A boa aceitação de produtos de plástico, por parte do mercado consumidor;
- Os avanços da ciência no desenvolvimento de novos polímeros, que possibilitam substituir outros materiais na fabricação de certos produtos;
- A possibilidade de produção de peças com formas geométricas complexas, obtidas principalmente, pelo processo de injeção, no

qual as mesmas já saem praticamente acabadas, prontas para serem embaladas e fornecidas ao mercado.

Em termos de PRODUÇÃO, o Brasil vem se destacando, a nível mundial, mantendo-se, nos últimos anos, com uma produção anual em torno de 2,2 milhões de toneladas, o equivalente a produção de importantes países, tais como, Espanha, Canadá e Inglaterra [32].

Dentre os diversos processos de fabricação de produtos de plástico existentes, o processo de injeção de termoplásticos destaca-se como um dos mais utilizados pela indústria mundial. Segundo BEALL[30], de todos os produtos de plástico que são produzidos anualmente, cerca de 25% são obtidos pelo processo de injeção, cuja descrição das principais características podem ser encontradas em [06, 29, 33, 34].

Para garantir o sucesso das empresas fabricantes de produtos de plástico, obtidos pelo processo de injeção, o setor de fabricação de moldes tem exercido, cada vez mais, um papel fundamental dentro do cenário internacional. Contudo, devido às características peculiares que apresentam a maior parte das empresas fabricantes de moldes, o futuro da produção e do consumo de produtos de plástico, obtidos a partir deste processo de produção, irá depender fortemente da capacidade dos mercados fornecedores de moldes se adaptarem às novas exigências que vêm sendo impostas a este setor.

Para melhor compreender a afirmação do parágrafo anterior, algumas considerações sobre as características da indústria de moldes de injeção, serão abordadas a seguir.

2.2. Características peculiares do setor

O projeto e a fabricação de moldes de injeção são realizados em uma divisão departamental, de uma empresa que injeta produtos de plástico, ou, na maior parte dos casos, em uma empresa fabricante de moldes, prestadora de serviços para as empresas de produção de peças de plástico. De um modo geral, as características básicas que identificam estas empresas, também conhecidas por *ferramentarias*, estão resumidas na **Figura 2.1**.

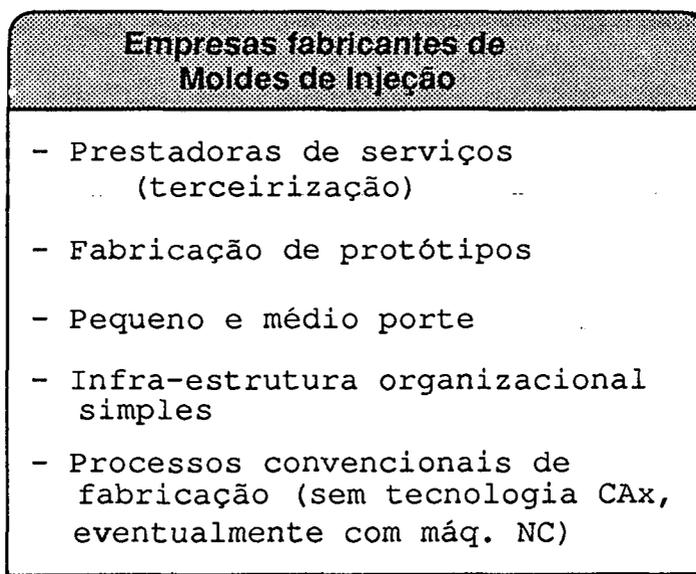


Figura 2.1 - Características de empresas fabricantes de moldes de injeção [07, 08, 13, 14, 18, 35 a 39].

Tendo uma produção caracterizada pela fabricação de protótipos [07, 13, 18, 35], normalmente, as ferramentarias são empresas de pequeno e médio porte [07, 14, 36, 37, 38], contendo, em média, de 17 a 20 funcionários [38]. Adicionalmente, apresentam uma infra-estrutura organizacional

bastante simples, onde, muitas vezes, o dono da empresa centraliza as decisões e distribui as tarefas para os diversos setores [08, 15, 39].

Com relação aos processos utilizados para a fabricação dos moldes existe uma grande diversificação de empresas, que vai desde as que utilizam somente equipamentos convencionais (sem comando numérico), passando por empresas que já estão utilizando máquinas NC há alguns anos, até empresas que já possuem sistemas CAE/CAD/CAM [12, 39, 40]. Apesar de cada vez mais surgirem relatos de empresas que estão renovando seu parque de máquinas, introduzindo máquinas de comando numérico e/ou adquirindo sistemas CAx, via de regra, ainda são bastante empregados os chamados processos convencionais de fabricação, ou seja, sem o emprego de tecnologias CAx, eventualmente com máquinas NC [07, 15, 36, 41, 42].

No que diz respeito ao **Brasil**, os últimos resultados de uma pesquisa, que vem sendo realizada periodicamente, pela revista Máquinas e Metais (Aranda Editora Técnica Ltda), revelaram que em torno de 48% das ferramentarias existentes no país produzem moldes de injeção, sendo que, destas, cerca de 94% são empresas consideradas de pequeno porte, distribuídas, em termos de número de trabalhadores, conforme é ilustrado na **Figura 2.2** [36]. Segundo a pesquisa, existem em torno de **960** ferramentarias, no país, das quais, cerca de **73%** estão concentradas na região do ABCD paulista e se caracterizam por apresentarem um parque de máquinas formado, basicamente, por máquinas-ferramenta convencionais, ou seja, sem comando numérico.

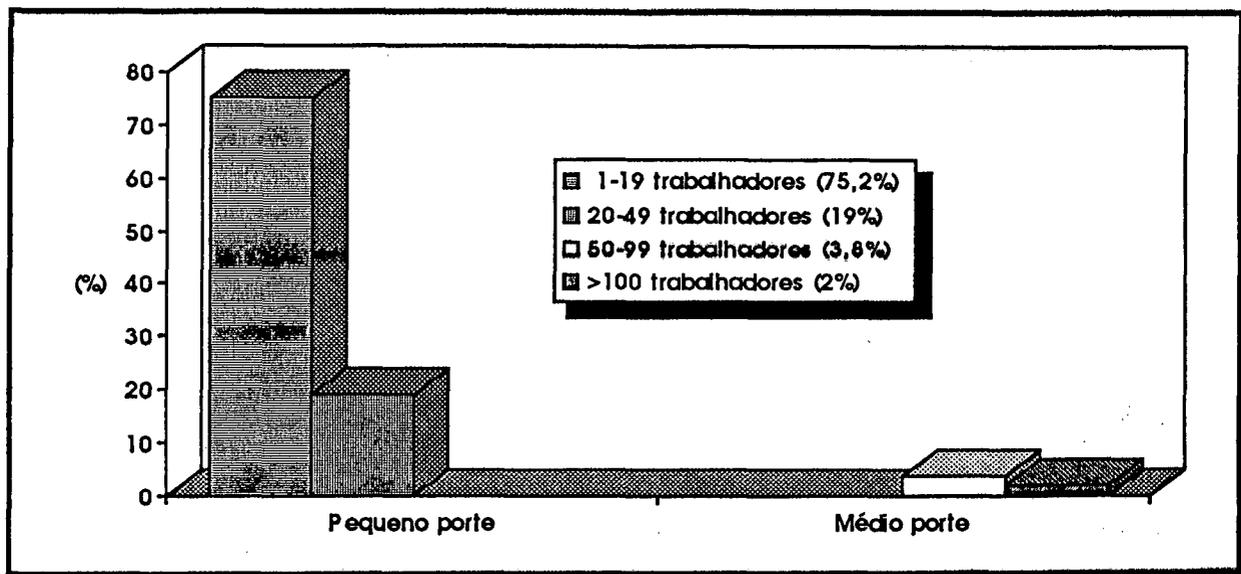


Figura 2.2 - Distribuição percentual do número de trabalhadores existentes em empresas fabricantes de moldes de injeção para produtos de plástico no Brasil [36].

A Tabela 2.2 apresenta a distribuição percentual dos tipos de máquinas-ferramenta utilizadas pelo setor, com base nas informações fornecidas por 236 ferramentarias pesquisadas, mostrando que o percentual de máquinas CNC corresponde somente à 6,5% do total.

No sentido de se poder obter uma melhor compreensão das mudanças que vêm ocorrendo no setor de moldes de injeção (assunto a ser abordado no Capítulo III), algumas considerações referentes às etapas mais representativas do processo convencional de fabricação de moldes de injeção, serão abordadas a seguir.

Máquinas-Ferramenta	Convencional(%)	CNC(%)	Total
Tornos	93,1	6,9	1.344
Fresadoras	91,7	8,3	1.211
Furadeiras de coordenadas	99,4	0,6	162
Eletroerosão (penetração)	97,5	2,5	241
Eletroerosão (a fio)		100	32
Retificadoras	97,3	2,7	657
Mandriladoras	93,2	6,8	102
Pantógrafos	100		79
Afiadoras	99,7	0,3	327
Centros de usinagem		100	47
Plainas	100		341
Prensas de ajustagem	100		228
Total	93,5	6,5	4.771

Tabela 2.2 - Distribuição percentual, de máquinas convencionais e CNC, nas ferramentarias brasileiras [36].

2.3. Processo convencional de fabricação

2.3.1. Visão geral das principais etapas e atividades

Para a produção de uma peça de plástico pelo processo de injeção, diversas etapas deverão ser realizadas, desde o instante da sua concepção e projeto, passando pelo projeto e fabricação do molde, até o instante da produção das peças junto a uma máquina injetora.

Este longo caminho é constituído por inúmeras atividades que abrangem tanto situações de execução de tarefas

simples quanto resoluções de problemas difíceis e complexos, os quais são, muitas vezes, causados pelo fato das atividades, via de regra, serem inter-dependentes, uma vez que decisões relacionadas ao projeto da peça a ser injetada interferem diretamente no projeto e na fabricação do molde e vice-versa. Esta característica é, muitas vezes, desconsiderada pelos projetistas da peça de plástico, o que acaba gerando dificuldades no instante de projetar o respectivo molde [01].

De um modo geral, as atividades envolvidas no projeto e na fabricação de um produto, seja qual for o processo adotado, englobam as seguintes fases: *levantamento de informações, cálculos, execução de desenhos, avaliação dos resultados e, finalmente, alterações.*

A **Figura 2.3** apresenta as etapas básicas envolvidas no projeto e na fabricação de moldes de injeção, pelo método convencional. O ponto de partida consiste em conceber a peça de plástico e, baseado nesta, definir a concepção de funcionamento do molde. A fase associada a estas etapas é a de **levantamento de informações**, onde o projetista verifica quais as possibilidades que existem para facilitar e auxiliar o projeto em questão, tais como, levantamento de resultados de pesquisas e patentes, exemplos disponíveis de projetos semelhantes bem sucedidos ou soluções já padronizadas. Na fase de **cálculos** são estipuladas as dimensões do molde, a partir das dimensões da peça, com base nas exigências de rigidez, propriedades dos materiais em questão, e das condições de funcionalidade da mesma.

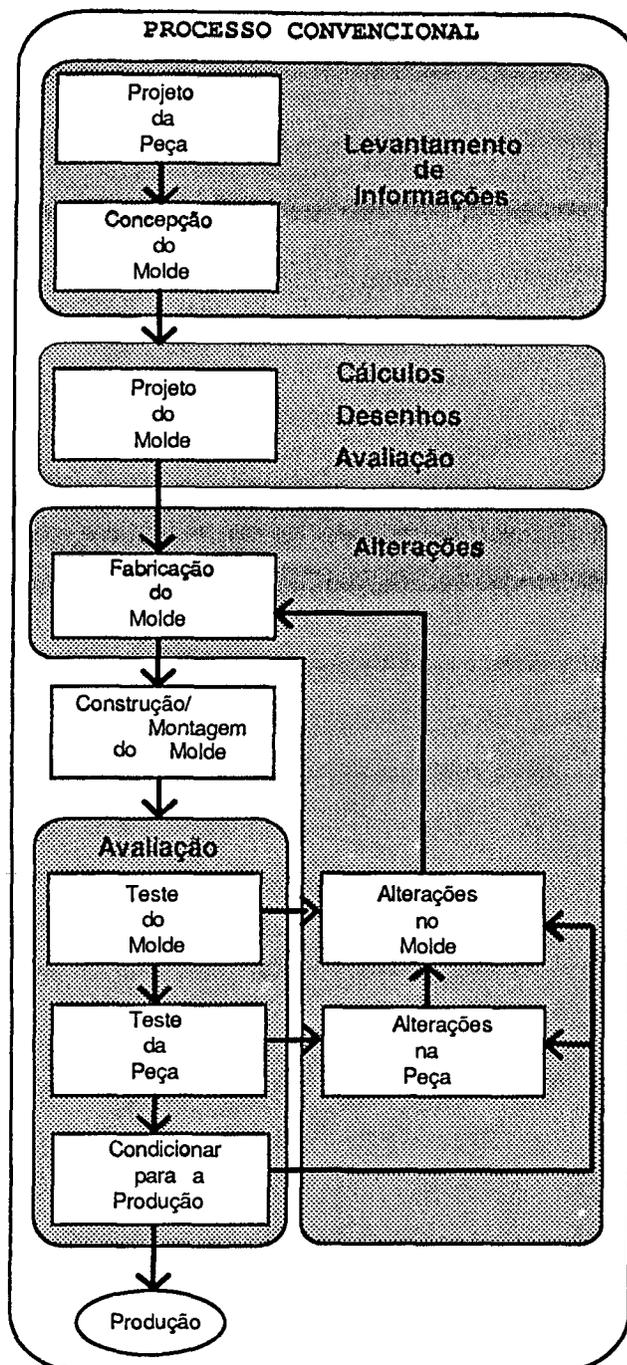


Figura 2.3 - Principais etapas envolvidas no projeto e na fabricação de moldes de injeção, pelo processo convencional [14, 74].

Estes cálculos são, via de regra, feitos a partir da experiência do projetista. Por este motivo, no projeto, pelo processo convencional, dificilmente o projetista acessa

informações que lhe permitiriam encontrar novas alternativas de solução [14]. Assim sendo, quando da realização dos **desenhos técnicos**, muitas vezes é necessário alterar, novamente, o projeto do artigo ou do molde. Isto significa que, parte da fase de **avaliação** acaba sendo realizada na fase de desenhos.

A fase de **avaliação** propriamente dita, ocorre, de fato, mais tarde, durante a realização dos testes de funcionamento do molde, junto à máquina injetora, normalmente, sem a participação do projetista ou representante do departamento de projetos [43, 46]. Na fase final, a de **alterações**, o molde é iterativamente modificado, durante o processo de fabricação e posterior construção/montagem das partes, tantas vezes quanto for preciso, até que seja atingida a qualidade desejada. Este procedimento é fundamentalmente baseado na experiência de trabalhadores do "chão-de-fábrica". Em muitos casos, não há um retorno das informações para o departamento de projetos [46].

Convém salientar que, alterações na peça e/ou no molde podem ainda se fazer necessárias após a realização dos testes dos mesmos, devido a ajustes posteriores, dos parâmetros do processo de injeção, junto à máquina injetora, com o intuito de condicionar o ciclo de injeção para a produção das peças.

2.3.2. Dificuldades e limitações

Com base na descrição feita no item anterior, percebe-se que o processo convencional é caracterizado por uma

série de interrupções no sentido de otimizar o desenvolvimento da peça de plástico e, por consequência, do molde [44].

Na prática, para a elaboração do projeto do molde nem sempre o ponto de partida é um desenho técnico da peça a ser produzida. São bastante utilizados modelos físicos da peça e a partir destes, empregadas as técnicas de fresamento por cópia de modelos, tornando o processo problemático, em termos de precisão, se comparado com o emprego de máquinas CNC acopladas a um sistema CAD/CAM [90].

No caso da elaboração de desenhos técnicos, estes, muitas vezes, ainda não estão concluídos mas, o processo de fabricação já foi iniciado, no sentido de se ganhar tempo [39], uma vez que, via de regra, os moldes são produzidos em um período de tempo muito longo, levando, em média, em torno de 6 meses [10, 12]. Dependendo da complexidade da peça de plástico e dos recursos (tecnológicos e humanos) disponíveis na empresa, este tempo pode ser ainda maior.

Um aspecto importante a ser comentado é que a última etapa, que caracteriza a fabricação de um molde, consiste na construção/montagem das diversas peças no setor de acabamento e montagem final, onde trabalham verdadeiros artesões, cuja experiência foi obtida através de longos anos de profissão. Este é um setor, da indústria de moldes de injeção, que contribui para que o processo se torne demorado, pois depende da capacidade individual de cada operário.

Adicionalmente, o procedimento adotado de, normalmente, não haver um retorno para o departamento de projetos, das informações obtidas na fase de **alterações**, em

função das correções feitas no molde após um teste mal sucedido, é um outro motivo que contribui para que os prazos de entrega dos moldes se tornem muito longos. A razão para isto reside no fato de que as modificações são feitas por tentativas e por pessoal que conhece a fabricação, mas desconhece características de projeto. Em média, o número fica entre 3 a 5 alterações antes do molde ser considerado como aprovado [10, 12, 19, 45].

Assim, pelo método convencional, torna-se difícil otimizar o processo de fabricação dos moldes, por exemplo, otimizando os canais de distribuição, a localização dos pontos de injeção e o número de cavidades por molde. Nas diversas etapas do processo, as inúmeras decisões de projeto e fabricação estão nas mãos de especialistas, por experiência acumulada pela prática e, portanto, dependem do conhecimento e da habilidade pessoal. Erros ou falhas, causadas até mesmo por esquecimento de algum detalhe importante, durante uma das fases do ciclo de desenvolvimento, normalmente, só são detectados no instante da realização do teste do molde. Como os testes são realizados, muitas vezes, com a presença do cliente, além de causar constrangimentos, para a empresa, acarretam altos custos e sérios prejuízos para a mesma [46].

CAPÍTULO III

O projeto e a fabricação de moldes de injeção auxiliados por computador

3.1. Considerações gerais

O setor de moldes de injeção tem se caracterizado por viver sob constantes mudanças. Em busca de novos clientes, cada vez mais exigentes, as empresas precisam ser bastante flexíveis, quanto aos métodos utilizados para a fabricação dos moldes, de modo a poder oferecer a melhor solução, em termos de prazos de entrega, tecnologia, qualidade e custos.

As atuais pressões, no sentido de introduzir tecnologias CAx, têm colocado o setor frente a uma situação caracterizada, basicamente, pelas mudanças ilustradas na **Figura 3.1**, passando do processo convencional para o processo auxiliado por computador. Contudo, tais mudanças não se limitam à aquisição de novos equipamentos e máquinas NC, assunto que pode ser melhor entendido a partir do que é descrito no Apêndice A.

No sentido de apresentar uma comparação entre o processo convencional e o auxiliado por sistemas CAx, uma descrição global das etapas envolvidas neste último é feita a seguir.

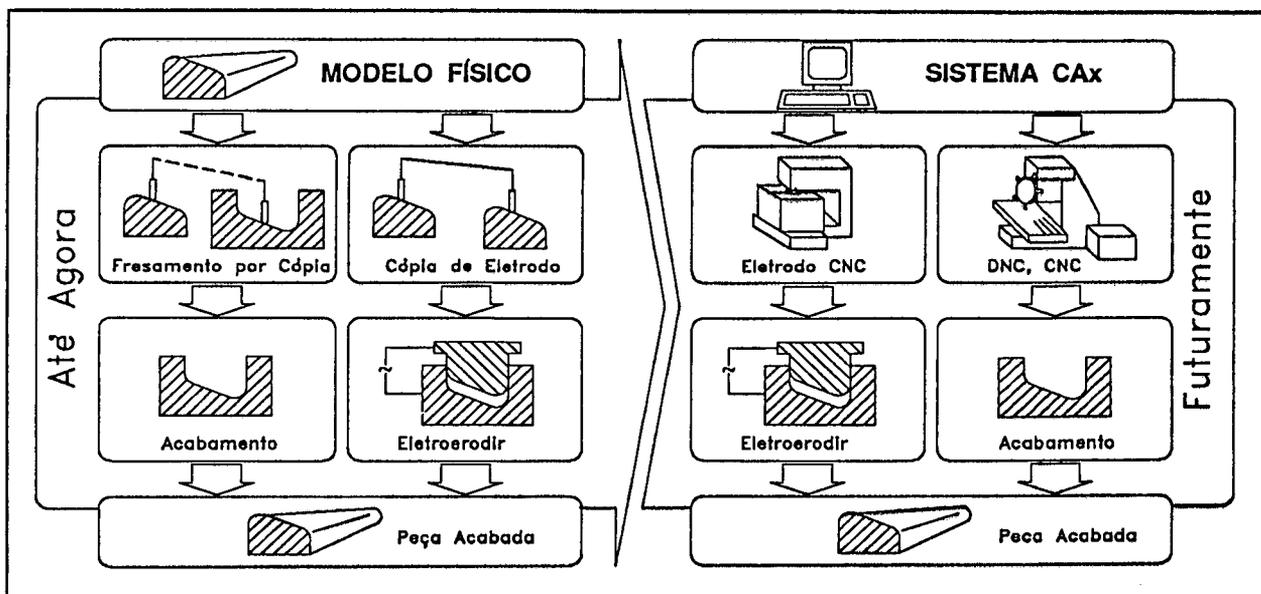


Figura 3.1 - Exemplo ilustrativo das pressões que o setor de moldes vêm sofrendo quanto as mudanças nos processos de fabricação .

3.2. Descrição global do processo via sistemas CAX

Uma visão geral das principais etapas do processo de desenvolvimento de moldes de injeção, a partir do auxílio de sistemas CAX, é mostrada na **Figura 3.2**. Comparando-a com a representação das etapas referentes ao processo convencional, mostrada na **Figura 2.3**, verifica-se que as principais etapas podem ser realizadas com o auxílio do computador.

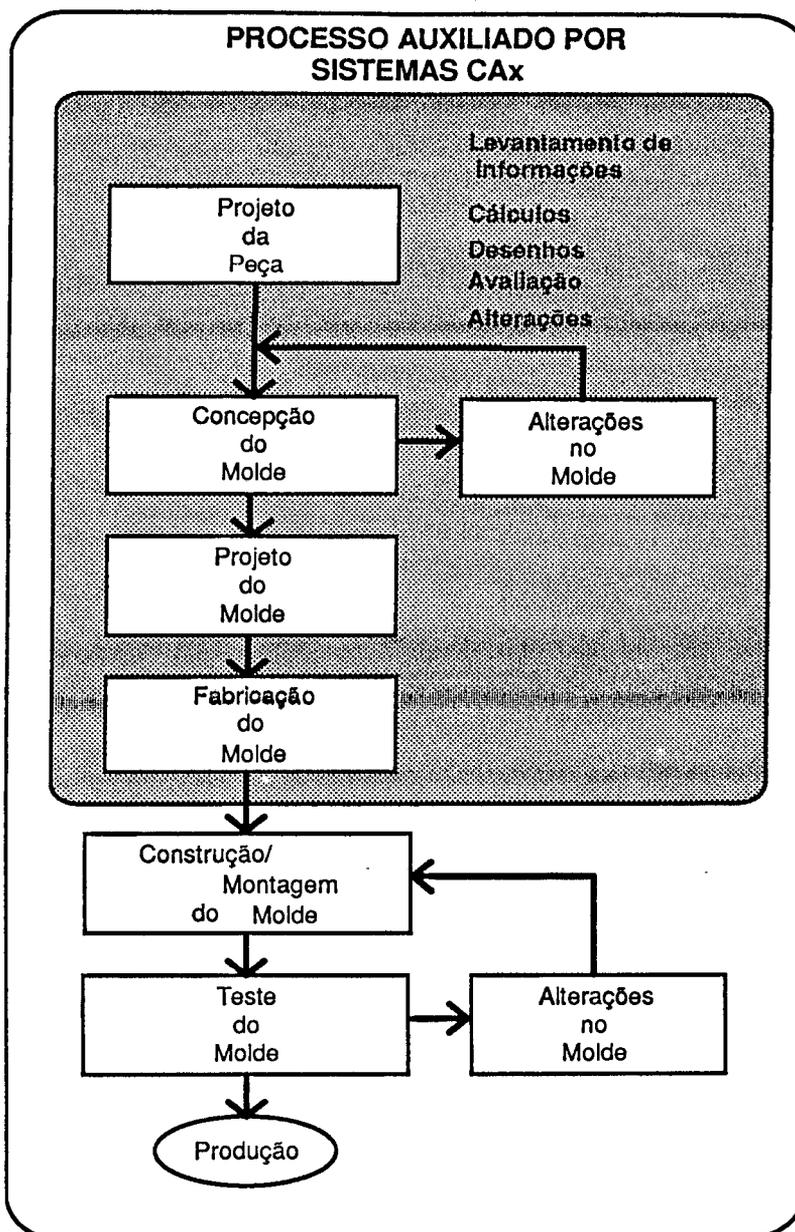


Figura 3.2 - Principais etapas do desenvolvimento de moldes de injeção, pelo processo via sistemas CAx [14].

A **avaliação** da peça e do molde, através da simulação de alternativas de soluções para o projeto, poderão ser testadas no sistema CAx bem no início do processo, antes de ser iniciada a fabricação, de modo que somente em casos

especiais, as alterações no molde, após o teste junto à máquina injetora, se farão necessárias, bem como a etapa de condicionar para a produção [06, 14, 31, 44, 47, 48]. Este é um dos principais argumentos favoráveis à utilização de sistemas CAX para a área de moldes, principalmente quando se considerar o fato de que o departamento de projetos detém em torno de 65-80% da responsabilidade sob o custo final do produto, se comparado com os demais departamentos envolvidos diretamente no desenvolvimento do mesmo [18, 31, 44, 48, 49]. Isto ocorre pois os ~~diversos~~ erros cometidos nesta etapa do processo, dificilmente poderão ser eliminados ou compensados, nas etapas subsequentes.

O auxílio de programas computacionais inicia-se já na etapa de **projeto da peça de plástico**, através da seleção do material mais apropriado. O projetista pode acessar banco de dados que contém informações sobre as características de diversos polímeros que são fornecidos no mercado [48, 49]. A * partir do modelamento da geometria da peça, no sistema CAX, e mediante a informação das características funcionais desejadas, é possível realizar uma análise mecânica, simulando as solicitações de carga a que a futura peça deverá ser submetida.

A etapa de **concepção do molde** tem por objetivo definir o princípio de funcionamento deste, otimizando a solução de projeto a ser adotada. Diferentes soluções de projeto podem ser simuladas, a partir de uma concepção inicial, da geometria da cavidade e dos canais de injeção, definida no sistema CAX, servindo de base para a realização de análises reológica, térmica e mecânica do molde (ver Parte 2, Apêndice A). Somente

ao término de todos estes passos é que se inicia a etapa de **projeto** e posteriormente, a de **fabricação**, onde são gerados os desenhos técnicos e a lista de peças para a montagem do molde, bem como, são definidos os passos para gerar os programas NC, que irão fabricar o molde [14].

Contudo, o emprego eficiente, desta tecnologia, no setor de moldes de injeção, requer que haja esforços de integração entre o fabricante de moldes e seus clientes, bem como, entre os departamentos de projeto, planejamento e fabricação [50, 51]. Este e outros temas, tais como, critérios para implantação da tecnologia CAx, aspectos a serem considerados na seleção de sistemas CAx em testes de "Benchmark" e características típicas de um sistema CAx para a área de moldes de injeção são mais detalhadamente abordados no Apêndice A.

CAPÍTULO IV

Uma avaliação dos problemas e dificuldades referentes à implantação de sistemas CAx no setor de moldes de injeção

4.1. Dificuldades intrínsecas ao setor

As atividades voltadas ao projeto e à fabricação de moldes de injeção para a indústria de plásticos requerem esforços provenientes de diversas áreas da engenharia. Portanto, envolvem uma grande diversificação de conhecimentos técnicos, tais como, ciência dos materiais (polímeros e metais), projeto de produtos, processos de fabricação, hidráulica, pneumática, mecanismos e outros. Estes devem ser direcionados no sentido de que se consigam fabricar produtos de qualidade e a prazos cada vez mais reduzidos. Em função da complexidade resultante deste apanhado de conhecimentos indispensáveis, o setor de moldes tem sobrevivido, principalmente, às custas de resultados obtidos da experiência prática conseguida durante longos anos de trabalho árduo e difícil, muitas vezes, a partir de erros com graves consequências para as empresas [52].

Em se tratando do emprego de sistemas CAx, o setor tem uma expectativa muito grande e espera obter facilidades e flexibilidade na resolução de seus problemas de

produção dos moldes, de modo a, mais rapidamente, poder responder às exigências impostas pelo mercado.

Contudo, o processo de implantação de sistemas CAx não é simples, exigindo das empresas uma metodologia organizada de trabalho e critérios de planejamento, conforme descrito em maiores detalhes na Parte 3 do Apêndice A.

Devido às características do tipo de empresa que predomina no setor de moldes de injeção (ver Capítulo II), as dificuldades de implantação e emprego eficiente de sistemas CAx neste setor se devem, em parte, aos seguintes motivos [15, 53, 125]:

- A forma de trabalho das empresas é inadequada ao emprego de sistemas CAx, uma vez que, via de regra, apresentam uma estrutura tipo departamental, pouco integrada, onde o "dono" centraliza as informações e decisões;
- A introdução da tecnologia, muitas vezes, vem sendo feita desorganizadamente, sem uma orientação mais adequada. Levadas pelas pressões exercidas pelo mercado, não raro, as empresas adquirem sistemas, que após a instalação, não são utilizados e explorados na totalidade de seus recursos.

4.2. Dificuldades intrínsecas aos sistemas CAx

Conforme mencionado no Capítulo I, as primeiras empresas de moldes a introduzirem sistemas CAx remontam ao início dos anos 80, portanto há mais de 10 anos. Era de se

esperar que a tecnologia já estivesse consagrada no setor de moldes, principalmente nas empresas dos países tecnologicamente mais desenvolvidos. Estranhamente, segundo GEHRING et Al[07], os resultados de uma pesquisa realizada em 1990, entre importantes fabricantes de moldes, na Alemanha, mostrou que ainda são bastante empregados os processos de fabricação através da cópia de modelos físicos. A **Figura 4.1** mostra a distribuição percentual dos processos utilizados pelo setor de moldes de injeção daquele país, onde verifica-se que a parcela ocupada pelo processo de fabricação via CAD/CAM é de 22%, enquanto que a de fresamento por cópia chega a 30%, situação esta que, de acordo com HOCK et Al[41] e RALL[42], não se alterou, prevalecendo ainda os processos de fabricação via o emprego de modelos físicos.

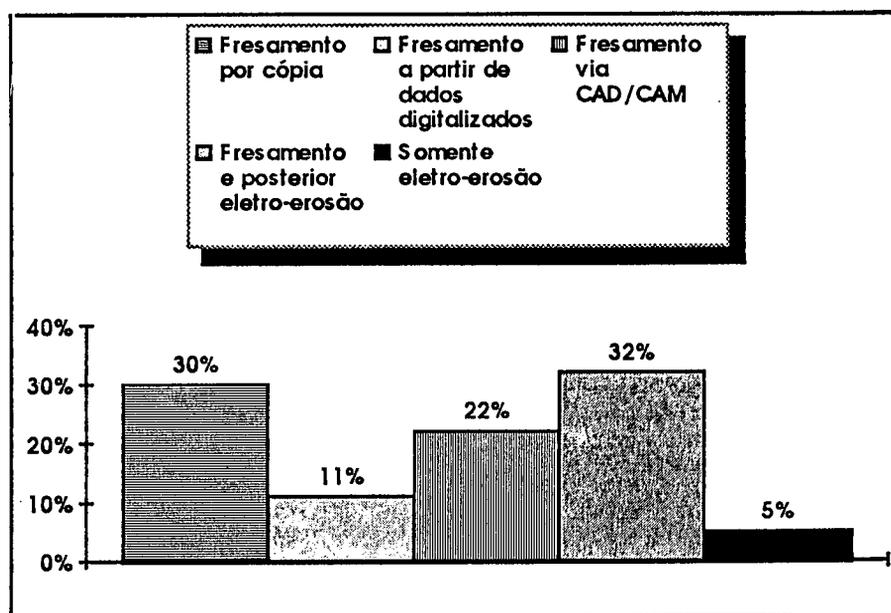


Figura 4.1 - Distribuição percentual dos processos de fabricação mais empregados pela indústria de moldes de injeção de plásticos alemã, em 1990 [07].

A realidade vivida pela indústria de moldes alemã, mundialmente consagrada pela alta capacidade técnica de sua mão-de-obra e excelente qualidade dos moldes que fabrica [04, 54, 55], tem comprovado que os atuais sistemas CAx, que vêm sendo utilizados pelo setor, não possuem recursos suficientes, capazes de facilitar e agilizar as atividades de projeto e fabricação de moldes de injeção, da maneira desejada pelo mesmo [41, 56].

Os desejos, no sentido de sistemas CAx com maiores recursos e facilidades, dedicados à área de moldes de injeção, prevalece, apesar de já estarem sendo comercializados sistemas especificamente voltados para atender este setor. Uma comprovação desta afirmativa pode ser obtida, a partir dos resultados apresentados em [12].

Uma abordagem mais ampla sobre os problemas que ocorrem no emprego de sistemas CAx e dificultam a sua implantação no setor de moldes de injeção é apresentada na Parte 4, do Apêndice A.

CAPÍTULO V

Conclusões

5.1. Considerações finais

Com base no trabalho de pesquisa realizado, referente às "**Características desejáveis para a implantação e o emprego de sistemas CAE/CAD/CAM no setor de moldes de injeção de plásticos**", além do que é apresentado na Parte 6, do Apêndice A, as seguintes considerações merecem ser citadas:

I. Com relação ao consumo e à produção de peças de plástico

- O consumo e a produção de peças de plástico, a nível mundial, nos últimos anos, têm crescido consideravelmente, tornando o plástico um dos materiais mais utilizados, nos dias de hoje [23, 24, 25];
- O Brasil ocupa, atualmente, uma posição de destaque internacional, como consumidor e produtor destes produtos [28, 32];
- Em torno de 25% dos produtos de plástico, produzidos anualmente no mundo, são obtidos pelo processo de injeção, o que destaca a

importância da indústria fabricante de moldes para este processo, a nível mundial [30];

- No Brasil, cerca de 48% das *ferramentarias* existentes fabricam moldes de injeção, mostrando a importância deste setor também no cenário da indústria nacional [36].

II. Com relação às peculiaridades das empresas fabricantes de moldes de injeção para produtos de plástico

- Tratam-se de empresas, em geral, de pequeno e médio porte, que disputam espaço em um mercado cada vez mais competitivo [07, 14, 36, 37, 38];
- Normalmente, são empresas prestadoras de serviços para terceiros, o que exige grande flexibilidade para atender às necessidades de seus clientes, que exercem forte influência sobre os rumos a serem seguidos por tais empresas [15, 39];
- Apesar de já existirem empresas que possuem máquinas NC e sistemas CAx, em geral, são bastante empregados, neste setor, os processos convencionais de fabricação (sem tecnologias CAx), onde as operações de confecção dos moldes são, normalmente, demoradas, trabalhosas e sujeitas a erros, em função de prevalecer, como ponto de partida para a fabricação dos moldes, a confecção de modelos físicos, tornando o processo dependente da experiência de verdadeiros artesãos [07, 15, 36, 41, 42];
- Possuem uma produção caracterizada por protótipos ou série unitária de moldes, que apresentam cavidades com formas geométricas cada vez mais complexas, de difícil fabricação, o que tem exigido uma revisão dos métodos utilizados pelo setor,

no sentido de passar do processo convencional para o assistido por computador [07, 12, 15, 20].

III. Com relação às tecnologias CAx na área de plásticos

- Desde o início dos anos 80 têm havido constantes pressões, para que as empresas invistam em modernas tecnologias NC, CNC e sistemas CAx, no sentido de melhorarem a qualidade e reduzirem os prazos de entrega dos moldes, pois seus clientes querem ter seus produtos lançados no mercado antes de seus concorrentes [15];
- Apesar de existirem sistemas CAx que oferecem recursos específicos para o setor de moldes, prevalece a insatisfação por parte dos usuários mais experientes, em função dos problemas e das dificuldades que ainda existem com relação ao emprego desta tecnologia (conforme descrito no Apêndice A) [07, 15, 18, 41];
- Se por um lado, o número de empresas que vêm investindo em sistemas CAx, no setor de plásticos, é cada vez maior, no mundo todo, por outro lado, o número daquelas que utilizam, tais sistemas, com eficiência, ainda é pequeno. Há uma série de dúvidas e incertezas, principalmente por parte das pequenas e médias empresas que, não raro, adquirem um sistema com o único argumento de que, quem não investir na modernização estará com os dias contados [15, 18, 19, 20, 53, 54, 57];

- Em resumo, muitas dúvidas que existem em relação à tecnologia CAx têm como causa os seguintes fatores [14, 15, 16, 17]:
 - Alto risco associado aos elevados investimentos que são necessários para empregar sistemas CAx;
 - Falta de informação mais detalhada a respeito da tecnologia CAx e de suas implicações;
 - Escassez de pessoal qualificado e bem treinado para utilizar a tecnologia CAx (mencionado na Parte 6 do Apêndice A).
- O trabalho de pesquisa mostrou que, até o momento, não existe um sistema que apresente a solução perfeita e completa para o setor de moldes de injeção, o que tem contribuído para dificultar a substituição dos métodos tradicionais de fabricação pelo processo via sistemas CAx.

IV. Com relação à situação no Brasil

- No Brasil, as empresas de moldes de injeção estão sentindo a necessidade de se modernizarem e o emprego de máquinas NC, CNC e sistemas CAx, embora ainda pequeno, tem crescido nestes últimos 2 anos, principalmente após a abertura ao mercado estrangeiro [58];
- Apesar disso, há carência de maiores informações e conhecimentos aprofundados sobre as implicações relativas ao emprego da tecnologia CAx [53];
- As empresas que já estão adquirindo sistemas CAx, têm se preocupado mais com aspectos de ordem técnica e,

principalmente, buscando obter informações quanto a possíveis valores quantitativos que expressem a rentabilidade destes sistemas, em detrimento dos aspectos de treinamento [45, 59];

- Assim, devido à carência, no país, de entidades/instituições voltadas para a formação de pessoal qualificado para lidar com a tecnologia CAx, para que o setor de moldes tenha chances de se manter competitivo, é recomendável:

- Incentivar pesquisas e estudos nesta área, fornecendo meios e recursos para se formar, no país, profissionais com nível superior, capazes de orientar as empresas do setor de moldes, nos aspectos que dizem respeito a implantação da tecnologia CAx;
- Criar cursos de treinamento de pessoal no uso de sistemas CAx, voltados especialmente para a área de moldes de injeção para plásticos;
- Criar dentro dos centros de formação de mão-de-obra, direcionados para formar pessoal de nível técnico, competência para formar mão-de-obra qualificada, com experiência no emprego de sistemas CAx para a área de moldes de injeção;
- Ampliar a participação da universidade em trabalhos de cooperação com empresas da área de plásticos e de moldes, para que as pesquisas e os estudos sejam voltados, cada vez mais, para atender as reais necessidades e interesses do setor, se possível, a curto e médio prazos;

- Direcionar os estágios obrigatórios de técnicos e engenheirandos de mecânica e de produção, para a área de projeto e fabricação de moldes de injeção;
- Explorar mais os convênios existentes e criar novos convênios entre Universidades e Escolas Técnicas, bem como, com o exterior.

5.2. Sugestões para novos trabalhos

Com base no exposto no item anterior, e sobretudo, com a intenção de ampliar a abordagem feita no "Manual de Orientação", procurando dar um aprofundamento maior, em cada um dos assuntos tratados, e manter as informações atualizadas de acordo com os avanços alcançados pelo desenvolvimento tecnológico, as seguintes propostas são sugeridas:

- Dar continuidade, no Departamento de Engenharia Mecânica da UFSC, a trabalhos de pesquisa referentes ao emprego de sistemas CAx, voltados a atender o setor de moldes de injeção, objetivando acompanhar os avanços do desenvolvimento tecnológico, para atender as necessidades deste setor;
- Pesquisar mais detalhadamente, o emprego de programas computacionais voltados à realização de análises térmica e mecânica do molde;
- Desenvolver um sistema especialista, voltado para o treinamento de pessoal, para facilitar a interpretação dos resultados fornecidos pela análise reológica em sistemas CAE;

- Realizar estudos sobre o emprego de tecnologias de usinagem em máquinas-ferramenta com controle simultâneo dos 5-eixos de usinagem, para a fabricação de moldes de injeção de plástico;
- Pesquisar mais detalhadamente a possibilidade de se empregar a tecnologia de estereolitografia para a fabricação de eletrodos para o processo de eletroerosão;
- Desenvolver pesquisas no sentido de aplicar conceitos de Engenharia Concorrente em empresas do setor de moldes de injeção para plásticos;
- Desenvolver pesquisas relacionadas ao emprego de técnicas de digitalização de modelos físicos e sua integração com sistemas CAx;
- Desenvolver um trabalho de integração dos diversos sistemas CAE, CAD e CAM disponíveis no GRUCON, visando criar um ambiente CIM para a área de plásticos;
- Estabelecer uma cooperação com o Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas, que também está desenvolvendo pesquisas na área de moldes, para que sejam realizados trabalhos conjuntos, envolvendo os aspectos gerenciais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [01] BEALL, G. "Werkstoff-und funktionsgerechtes Konstruieren hochwertiger Kunststoffbauteile"
Kunststoffe, 79 (10), out./1989, p. 1028-1031.
- [02] CABRAL, F. "Indústria de moldes em Portugal: porque na Marinha Grande ?"
Prospecto EXPO - Indústria Portuguesa: anos 90, jun./1991, p. 1-7.
- [03] BELTRÃO, V.H. "Futuro da indústria de moldes: perspectivas da sua evolução"
O Molde, ano 2, nº4, jun./1989, p. 39-42.
- [04] CABRAL, J. "Análise dos principais mercados de exportação e do comportamento da concorrência"
PADEIRA, A.
Anais do 3º Congresso da Indústria de Moldes, Marinha Grande, Portugal, nov./1989, p. 59-88.
- [05] VOLPATO, N. "Usinagem de moldes de injeção através de sistemas CAD/CAM: relato de experiência a partir de estudo de casos"
FERREIRA, A.C.
BENVENUTTI, J.
Anais do 2º Congresso Brasileiro de Polímeros, São Paulo, out./1993.
- [06] MENGES, G. "How to make injection molds"
MOHREN, M.
Hanser Publishers, Munich - Vienna - New York, 1986.

- [07] GEHRING, V. "Entwicklungstendenzen im Werkzeug und
BECKER, M. Formenbau"
CAMACHO, H. VDI-Z, 138 (8), ago./1990, p. 12-16.
- [08] NETO, H. "A indústria de moldes no final do século
XX"
Anais do 2º Congresso da Indústria de
Moldes, Marinha Grande, Portugal,
maio/1987, p. 133-143.
- [09] ALFAIATE, A. "Algumas considerações sobre as
perspectivas futuras da indústria de
moldes"
Anais do 2º Congresso da Indústria de
Moldes, Marinha Grande, Portugal,
maio/1987, p. 111-121.
- [10] KRUTH, J.P. "CAD/CAM reinforces the competitive edge
KESTELOOT, P. of the european mouldmakers"
Artigo de publicação interna do Projeto
BRITE-MODESTI (Mould design and
manufacturing optimisation by
development, standardisation and
integration of CAD/CAM procedures".
Instituto WTCM/CRIF, Heverlee, Bélgica,
1988, p. 1-12.
- [11] N.N. "MOULD - Modernization of the mould-making
industry through the use of advanced
technologies and CAD/CAM"
Sprint Proposal for Specific Project,
out./1989.

- [12] VOLPATO, N. "Recursos CAD/CAM voltados ao modelamento e à usinagem de cavidades para moldes, com estudo de casos de aplicação"
Dissertação de mestrado, Curso de pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, nov./1993.
- [13] MIRANDA, H.A. "Sistemas de CAD/CAM na indústria de
DA SILVA, R.M. moldes: Ficção e realidade"
O Molde, ano 2, nº6, dez./1989, p. 44-48.
- [14] GLIESE, F.R. "Die Einführung der computerintegrierten Fertigung (CIM) in Kunststoffspritzgiessbetrieben"
Tese de doutoramento, Fakultät für Maschinenwesen der RWTH Aachen, jul./1987.
- [15] AHRENS, C.H. "Emprego de sistemas CAx no setor de moldes de injeção para plásticos"
Anotações provenientes de entrevistas com especialistas, técnicos e usuários de CAD/CAM em empresas de moldes de injeção, realizadas durante o período de set./89 a mar./92, em encontros na Alemanha, Bélgica e Portugal.
- [16] EVERSHEIM, W. "CAD für die Konstruktion von
KLEVERS, T. Kunststoffspritzgiesswerkzeugen"
VDI-Z 131, Nr.6, jun./1989, p.40-45.
- [17] FLETEMEIR, D. "Tools-and-die shop to CAD/CAM"
American Machinist, mar./1991, p. 41-45.
- [18] MERETZ, H. "Werkzeug-und Formenbauer leben mit CAD-CAM"
Werkstatt und Betrieb, 122 (9), set./1989, p. 747-751.

- [19] KRUTH, J.P. "Integration of CAD/CAM Procedures for
KESTELOOT, P. Mouldmaking"
BRITE/MODESTI Report, 1987, p.39-44.
- [20] FUJII, F. "Moldes: o futuro não pode ficar para
 depois"
Plásticos em Revista, nº370, fev./1993, p.
15-17.
- [21] HENNECKE, K.D. "CAD/CAM erschließt neue Wege"
 ZWF, 88 (5), maio/1993, p. CA81 - CA83.
- [22] N.N. "Members of the portuguese Mouldmaking
 Associaton"
Cefamol-Associação Nacional da Indústria de
Moldes, Marinha Grande, Portugal, 1991.
- [23] SONMEZ, M. "Plastics consumption in automotive
 applications"
Automotive Manufacturing International '93,
Sterling Publications Limited, p. 49-52.
- [24] N.N. "Um futuro engatado em quarta"
 Plásticos em Revista, jul./1991, p.10-14.
- [25] SOUSA, W. "O versátil PU pega carona nos veículos
 nacionais"
Plástico Moderno, nov./1992, p. 6-11.
- [26] N.N. "Trinta anos à tona"
 Plástico em Revista, nº357, nov./1991,
p.22-50.
- [27] FERREIRA, A.C. "CIMJECT - Uma proposta de intercâmbio
 tecnológico entre universidade e indústrias
 de moldes de injeção"
Anais do 2º Congresso Brasileiro de
Polímeros, São Paulo, out./1993.

- [28] N.N. "Presente y futuro: Industria del Plastico, Mexico e América, 1993"
Documento impresso pelo IMPI - Instituto Mexicano del Plastico Industrial, 1993.
- [29] FREIXO, O.M "Moldagem de termoplásticos pelo processo de injeção e a utilização de componentes parametrizados no projeto de moldes assistido por computador"
Dissertação de mestrado, Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, ago./ 1991.
- [30] BEALL, G. "Hochwertige Spritzgussteile konstruieren"
Kunststoffe, 80 (7), jul./1990, p. 786-789.
- [31] MENGES, G. "Rechnerintegrierte Prozeßgestaltung beim Spritzgießen"
Artigo de publicação interna do Instituto IKV, Aachen, 1987.
- [32] KAISER, W. "Die Kunststoffindustrie Brasiliens"
Kunststoffe, 81 (6), jun./1991, p. 466-470.
- [33] BLASS, A. "Processamento de Polímeros"
Editora UFSC, 2ª edição, Brasil, 1988.
- [34] HARADA, J. "Moldagem por Injeção: Projeto e Princípios Básicos"
Medialdéia Editora Ltda, São Paulo, 1991.
- [35] MALLE, K. "NC-Technik im Werkzeug-und Kunststoff-Formenbau"
VDI-Z, 130 (10), out./1988, p. 84-93.

- [36] N.N. "Pesquisa revela o perfil do setor brasileiro de ferramentarias"
Máquinas e Metais, nº328, maio/1993, p. 20-21.
- [37] FIGUEIREDO, J. "Tecnologias e formação profissional na indústria de moldes"
O Molde, ano 4, nº14, dez./1991, p. 9-13.
- [38] N.N. "Evolução da produção europeia de moldes e ferramentas especiais: de '84 a '87"
O Molde, ano 2, nº6, dez./1989, p. 23-24.
- [39] MATOS, A. "Organização da fabricação da indústria de moldes"
Anais do 1º Congresso da Indústria de Moldes, Marinha Grande, Portugal, fev./1985, p. 345-349.
- [40] DIHLMANN, C. "O emprego de sistemas CAE/CAD no projeto de moldes de injeção de peças termoplásticas: relato de experiências de cooperação universidade/empresa, a partir de estudos de casos"
FERREIRA, A.C.
PEIXOTO, F.L.
UEDA, H. Anais do 2º Congresso Brasileiro de Polímeros, São Paulo, out./1993.
- [41] HOCK, S. "Freiformflächen im Werkzeug- und Formenbau betrieblen"
TANOVSKY, D. Werkstatt- und Betrieb, 125(8), ago./1992, p. 597-606.
- [42] RALL, P. "Frästechnologie im Modell- Werkzeug- und Formenbau: Stand der Technik und Trends"
wt Werkstattstechnik, 81, 1991, p. 347-350.

- [43] N.N. "Mesa Redonda: Projeto de Moldes - ontem, hoje e amanhã"
O Molde, ano 1, nº2, dez./1988, p. 37-45.
- [44] SCHMITZ, J. "Anleitung zum methodischen konstruieren von Spritzgiessteilen"
Tese de doutoramento, Fakultät für Maschinenwesen der RWTH Aachen, nov./1984.
- [45] SINO, M.A. "Moldes ganham vida nas telas dos computadores"
Plástico Moderno, set./1992, p. 10-15.
- [46] AHRENS, C.H. "CNPq - Relatório de estágio na empresa Molde Matos/Portugal"
Anexo do documento "Cnpq - Relatório Final", jul./1992.
- [47] POUSADA, A.S.
BRITO, A.M. "Simulação de fluxo em moldes de injeção: utilização do programa MF/Flow"
O Molde, ano 4, nº12, jun./1991, p. 13-16.
- [48] HAACK, W. "Der Rechnereinsatz bei der Konstruktion von Spritzgußformteilen"
Tese de doutoramento, Fakultät für Maschinenwesen der RWTH Aachen, maio/1984.
- [49] SCHLEEDE, K. "Rechnerunterstützte Auslegung von Spritzgießteilen "
Tese de doutoramento, Fakultät für Maschinenwesen der RWTH Aachen, maio/1988.
- [50] TONFELD, J. "Einsatzperspektiven von CAD-und CAM-Systemen im Werkzeug-und Formenbau"
ZwF, 84 (7), jul./1989, p. 407-410.

- [51] CASTRO, R.P. "CAD/CAM-CIM: Que perspectivas para a indústria de moldes ?"
Anais do 3º Congresso da Indústria de Moldes, Marinha Grande, Portugal, nov./1989, p. 141-148.
- [52] PIRES, J. "A formação profissional na indústria de moldes: que formação? Mecanismos de apoio."
Anais do 3º Congresso da Indústria de Moldes, Marinha Grande, Portugal, nov./1989, p. 293-301.
- [53] FUJII, F. "CAE/CAD/CAM - Uma decisão inteligente"
Plásticos em Revista, abr./1992, p.22-26.
- [54] AHRENS, C.H.
FERREIRA, A.C. "Assimilação de tecnologias CAE/CAD/CAM em indústrias fabricantes de moldes e de produtos de plástico pelo processo de injeção: exemplos da experiência europeia"
Anais do 2º Congresso Brasileiro de Polímeros, São Paulo, out./1993.
- [55] FERNANDES, J. "A experiência alemã na produção de moldes e na Formação de 'moldmakers'"
O Molde, ano 1, nº2, dez./1988, p. 11-14.
- [56] BECKER, M.
GEHRING, V. "Rationalisierung im Werkzeug- und Formenbau"
VDI-Z, 133 (6), jun./1991, p. 65-72.
- [57] BELTRÃO, V.H. "Conferência da ISTA"
O Molde, ano 2, nº6, dez./1989, p. 40-43.
- [58] FUOCO, T.H. "CAD/CAM e máquinas CNC, interligados, projetam as indústrias"
Máquinas e Metais, nº321, out./1992, p. 18-22.

- [59] CASTRO, F. "Indústria plástica deve treinar sua mão-de-obra"
Plástico Moderno, set./1992, p. 22-24.
- [60] SCHLECHTENDAHL "Specification of a CAD*I Neutral File
for CAD Geometry - Wireframes, Surfaces,
Solids - Version 3.2"
Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg, 1987,
p. 1-18.
- [61] OBERMANN, K. "CAD/CAM Handbuch 1990"
Verlag für Computergrafik GmbH, München,
1990.
- [62] SCHIEWE, R. "CAD - Konstruktion einer Kunststoff-
Spritzgießform"
Dissertação de mestrado (Diplomarbeit)
submetida à Hochschule Bremen, 1988.
- [63] FRANZ, D. "CAD/CAM im CIM-Umfeld"
VDMA Maschinenbau-Verlag GmbH, Frankfurt/M,
1988.
- [64] WALTER, U. "Was sind NURBS?: Eine kleine Einführung"
CAD/CAM, (3), 1989, p. 96 - 98.
- [65] WOODWARD, C.D. "B2-splines: a local representation for
cubic spline interpolation"
The Visual Computer, (3), 1987, p. 152 -
161.
- [66] N.N. "Smartcam - Advanced 3D Machining: Quick
Reference Guide"
Manual, Point Control Co., USA, oct./1991.

- [67] NEDEB
KOSIN "Simulationsprogramme für das Spritzgießen auswählen"
Kunststoffe, 82 (6), jun./1992, p. 464-468.
- [68] DIHLMANN, C. "Simulação e análise do preenchimento de cavidades em moldes para injeção de termoplásticos utilizando método manual e tecnologia CAE/CAD "
Dissertação de mestrado, Curso de pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, nov./1993.
- [69] FILZ, P.F. "Neue Entwicklungen für die Simulation des Spritzgießprozesses von Thermoplasten"
Tese de doutoramento, Fakultät für Maschinenwesen der RWTH Aachen, dez./1988.
- [70] GROTH, S. "CIM - Bausteine für das Spritzgießen"
Anais do "15º IKV-Kunststofftechnisches Kolloquium" realizado de 14 a 16.03.1990, Aachen, p. 29-59.
- [71] N.N. "Moldflow Pré- and Posprocessor, Release 7"
Manual de referência, Moldflow Australia, 1991.
- [72] BANGERT, H. "Systematische Konstruktion von Spritzgießwerkzeugen und Rechnereinsatz"
Tese de doutoramento, Fakultät für Maschinenwesen der RWTH Aachen, dez./1981.
- [73] N.N. "I-DEAS Master Series"
SDRC Product Catalog, Version 1, mar./1993.

- [74] MENGES, G. "Anleitung für den Bau von Spritzgieß-
MOHREN, P. werkzeu gen"
Carl Hanser Verlag, 3ª Ed., München, 1991.
- [75] GIRARDET, W. "Normaliendatei statt Katalog"
Impressão especial extraída de Industrie-
Anzeiger, nº11, fev./1984, p. 1-4.
- [76] SCHWARTZ, H. "CAD-Normaliendatei: eine wesentliche
Komponente der wirtschaftlichen CAD/CAM-
Anwendung im Werkzeug-und Formenbau"
CAD/CAM, set./1984, p. CA54 - CA57.
- [77] HEUEL, O. "Individuelle Formaufbauten für Spritz-und
Druckguß"
Impressão especial extraída de CAD/CAM/CIM,
out./1988, p. 1-3.
- [78] N.N. "I/MOLD"
Technical Overview Intergraph, apr./1991.
- [79] N.N. "I-DEAS Mold Base Catalog (DME, HASCO or
Futuba)"
SDRC Product Catalog, Version 1, mar./1993.
- [80] N.N. "Catálogo Eletrônico Polimold - versão 1.3"
Manual de Instruções, 1991.
- [81] N.N. "DUCTmold Version 1.31"
Reference Manual, DELCAM Systems, 1992.
- [82] N.N. "DUCT5 - User Guide"
Manual do usuário, DELCAM International
Plc., England, 1992.

- [83] N.N. "Diaklid/Euklid - Das integrierte CAD/CAM System für den Werkzeug-und Formenbau" Prospecto Fides Informatik, Fides (Deutschland) GmbH, 1991.
- [84] VIEFHAUS,R. "Fräsergeometriekorrektur in numerischen Steuerungen für das fünfachsige Fräsen" ISW Forschung und Praxis, Band 79, Springer Verlag, 1989.
- [85] LEOCÁDIO,A.C. "Comunicação entre sistemas e equipamentos na indústria de moldes" Anais do 3º Congresso da Indústria de Moldes, Marinha Grande, Portugal, nov./1989, p. 165-179.
- [86] GUDITZ,R. "CAD-Dateien direkt konvertieren - Angepaßte Übertragungsprogramme umgehen Schnittstellen-Probleme" CAD-CAM-CIM, mar./1990, pag. CA40-CA42.
- [87] TRÖNDLE,K.
WECKERLE,E. "Austausch von CAD-Daten zwischen Unternehmen" VDI-Z 131 (3), mar./1989, p.12-16.
- [88] MERTENS,E. "Der Nutzen von STEP für die CAD/NC-Kopplung" CIM Management, mar./1991, p. 37-42.
- [89] EVERSHEIM,W.
BUßMANN,J. "STEP - Entwicklung einer Schnittstelle zum Produktdatenaustausch" VDI-Z, 131 (9), set./1989, p. 68-76.
- [90] DIETZ,C.
FRANK,K. "CAD-CAM im Werkzeug-Formen-und Modellbau" Werkstatt-und Betrieb, 122(7), jul./1989, p. 541-554.

- [91] LAMBOURNE, E. "Reducing time to make auto components using CAD/CAM"
Automotive Manufacturing International '93, Sterling Publications Limited, p. 49-52.
- [92] EVERSHEIM, W. "CAD-Systeme und NC-Programmiersysteme koppeln"
DAHL, B.
MARCZINSKI, G. ZwF, 85 (5), maio/1990, p. 267-271.
HOLLAND, M.
- [93] HERBERTZ, R. "CAD/CAM im Werkzeugbau: Die Beziehung Kunde/Lieferant wird enger"
Industrie-Anzeiger, 101, 1990, p. 27-29.
- [94] MOREIRA, N.P. "Integração da manufatura: Uma proposta de base"
Dissertação de mestrado, Curso de pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, 1993.
- [95] SCHWARTZ, H. "Von der Produktgestaltung zur Fertigung"
Schweizer Maschinenmarkt, n°10/1987, p.42-47.
- [96] GRABOWSKI, H. "Benchmarktests zur Untersuchung von CAD-Systemen. Teil 1: Vorgehensmodell für die Entwicklung und Durchführung von Benchmarktests"
ANDERL, R.
DIENST, P. VDI-Z, 133 (5), maio/1991, p. 50-57.
- [97] GRABOWSKI, H. "Rechnerunabhängige CAD - Software: Beurteilung und Test"
GLATZ, R.
DIENST, P. KfK-PFT 134, Kernforschungszentrum Karlsruhe, 1987.

- [98] BARALDI, U. "Final Report on reological simulation softwares"
BRITE/MODESTI Project 10th General Meeting,
Liège, dez./1989.
- [99] UEDA, H. "Um exemplo de aplicação do Moldflow para a injeção de uma peça"
Relatório do Projeto CIMJECT/GRUCON,
dez./1992.
- [100] SAKAGUTI, E. "Análise do preenchimento de cavidades em moldes de injeção para termoplásticos"
Relatório do Projeto CIMJECT/GRUCON,
ago./1993.
- [101] KESTELLOTT, P. "Mould Library Description"
BRITE/MODESTI Project 10th General Meeting,
Liège, Bélgica, dec./1989.
- [102] KARROL, K. "Mould Library Version 3: Description and Demo"
BRITE/MODESTI Project 11th General Meeting,
Leuven, Bélgica, jun./1990.
- [103] N.N. "Major Enhancements to Optimold 5.0"
Prospecto, Graftek Inc., USA, oct./1990.
- [104] N.N. "CAMould from Tecnocad"
Prospecto, Tecnocad Ltda., Sligo, Irlanda.
- [105] KESTELLOTT, P. "Mould Library Version 2: Demo"
BRITE/MODESTI Project 11th General Meeting,
Leuven, Bélgica, jun./1990.
- [106] N.N. "Sermold: Software português para desenho de moldes"
O Molde, ano 4, nº13, set./1991, p.19-28.

- [107] ZIRBS, J. "Fertigungsgerechte Aufbereitung von Flächenverbänden bei der NC-Programmierung im Formenbau"
Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg, 1989.
- [108] HIRSCH, B. "Realistische Simulation mehachsiger
CHENG, X. NC-Bearbeitungsvorgänge"
MÜLLER, H. Zwf 85 (10), oct./1990, p. 541-545.
- [109] CHENG, X. "Demonstration of 5-axis Milling Simulation on PC"
BRITE/MODESTI Project 10th General Meeting, Liège, Belgica, dec./1989.
- [110] N.N. "VERICUT"
Prospecto, CGTech, Irvine, USA.
- [111] N.N. "Auto Die-Model Maker opts for Pc-based CAD/CAM"
Machine and Tool Blue Book, May/1989, p.54-56.
- [112] SÁ, A. "Formação profissional"
O Molde, ano 4, nº14, dez./1991, p.38-40.
- [113] GLANTSCHNIG, F "Zukunft-und Wirtschaftlichkeit für Konstruktion und Herstellung komplexer Formen und Werkzeuge durch CAD-CNC-Kopplung"
Werkstatt-und Betrieb, 123(7), jul./1990, p. 557-563.
- [114] WERKMANN, M. "Fünf-Achsen-Fräsen und Hochgeschwindigkeitsfräsen: Synergieeffekte für den Werkzeug- und Formenbau"
VDI-Z, 131 (2), fev./1989, p. 36-39.

- [115] EVERSHEIM, W. "Fünfachsiges Simultanfräsen von
SCHÜTT, J.M. Freiformflächen: Probleme bei der Maschinen-
ZEPF, R. auswahl"
VDI-Z, 131 (2), fev./1989, p. 14-17.
- [116] KRUTH, J.P. "Technology of 5-Axis Milling and Demo"
KEMPENEERS, A. BRITE/MODESTI Project 11th General Meeting,
Leuven, Bélgica, jun./1990.
- [117] FELDERMANN, J. "Fünfachsiges NC-Fräsen: Simulation und NC-
Datensatzenerstellung sind noch Schwächen
heutiger CAD/CAM-Software"
VDI-Z, 133 (6), jun./1991, p. 75-87.
- [118] N.N. "DUCT and Rapid Prototyping"
DuctUser, nº 9, jan./1993.
- [119] N.N. "INSTANTCAM: Reduction of Design to Product
Lead Time through Instant Manufacturing of
Models, Prototypes and Tools"
Anexo I - Programa de atividades do projeto
BRITE/EURAM Nº BE3527-89, maio/90, p.01-
61.
- [120] KROEMKER, M. "Herstellen von Funktionsmustern durch
Stereolitographie"
Diplomarbeit submetido ao Departamento de
Engenharia de Produção da Universidade de
Bremen, sob orientação do Prof.Dr.-Ing.
Bernd E. Hirsch, nov./1991.
- [121] N.N. "3D Systems Inc."
Prospecto, Valencia, USA, 1990.
- [122] MÜLLER, H. "Description and user experience of
Stereolitography Process"
BRITE/MODESTI Project 10th General Meeting,
Liège, dez./1989.

- [123] PEIXOTO, F.L. "CONSUL SA: 3º Relatório de Estágio"
Disciplina EMC 5530 - Estágio Profissional
em Engenharia Mecânica, UFSC/EMC, jul./1993.
- [124] SÁ, A. "Necessidade de formação profissional"
O Molde, ano 1, nº2, dez./1988, p. 9-10.
- [125] MATTOS, P. "Implementação de sistemas CAD/CAM em
empresas de moldes do Canadá: Relato de
experiência"
Apresentação junto ao GRUCON/EMC/UFSC,
1993.
- [126] N.N. "Pesquisa também é desenvolvimento -
Entrevista com Prof. Silvio Manrich"
Plásticos em Revista, ago./1993, p.16-22.
- [127] N.N. "KAPPA User's Guide - Version 1.2"
Manual, IntelliCorp Inc., May/1991.
- [128] WATERMAN, D. "A Guide to Expert Systems"
Addison-Wesley Publishing Company, USA,
1986.
- [129] KRUTH, J.P. "Machining sculptured surfaces in the
subcontracting industry"
Artigo de publicação interna do Projeto
BRITE-MODESTI. Instituto WTCM/CRIF,
Heverlee, Bélgica, pag. 1-8.
- [130] N.N. "BRITE-MODESTI Project 1391: Five Axis
Milling"
Status Report WG 6.3 and DG 8.3, May/1988.

[131] N.N.

"First Interim Report for Sprint-Specific Project MOULD - Modernization of the mould-making industry through the use of advanced technologies and CAD/CAM"

Publicação exclusiva de divulgação interna aos participantes do projeto MOULD, 1990.

APÊNDICE A

Sistemas CAx para o setor de moldes de injeção: Manual de Orientação

Conteúdo

Parte 1 : Conceitos Básicos	59
A.1.1. Tipos de sistemas CAx	59
Sistema ou Módulo CAE	60
Sistema ou Módulo CAD	60
Sistema ou Módulo CAM	60
Sistema CAE/CAD/CAM	61
A.1.2. Representação da peça em sistemas CAx.....	64
Modelamento planar 2D e 2½D	65
Modelamento espacial 3D.....	66
Modelador "Wireframe"	66
Modelador de Superfícies	66
Modelador de Sólidos	69
A.1.3. Recursos básicos empregados para facilitar a visualização no modelamento através de sistemas CAx	73
Função "Window" (janela)	73
Função "Zoom"	74
Função "Layer" (níveis/camadas)	75
Função "Shading" (sombreamento)	77

Parte 2: Sistemas CAx na área de moldes de injeção - campos

de atuação	79
A.2.1. Fase de Concepção	79
Análise Reológica.....	83
Análise Térmica	85
Análise Mecânica	86
A.2.2. Fase de Projeto	87
Especificação dos componentes do molde	88
Especificação da cavidade (macho e fêmea)	91
A.2.3. Fase de Fabricação	94
A.2.4. Integração entre as fases	100
Interface IGES	104
Interface VDA-FS	104
Interface DXF	105
Parte 3: Considerações voltadas à implantação de sistemas CAx	106
A.3.1. Aspectos de ordem organizacional	106
A.3.2. Planejamento sistemático para implantar a tecnologia	110
Etapas gerais do processo de implantação	113
Formação de uma equipe e definição da pessoa responsável	119
Treinamento de pessoal	120
Seleção e avaliação através de "Testes de Benchmark".....	122

Sistemas CAE	124
Sistemas CAD	125
Sistemas CAM	129

Parte 4: Considerações sobre o emprego de sistemas CAx em

empresas fabricantes de moldes de injeção	131
A.4.1. Considerações gerais	131
A.4.2. Fase de concepção: sistemas CAE	132
Etapa de modelamento	132
Etapa de geração da malha	136
Etapa de seleção dos critérios para a simulação..	138
Etapa de simulação propriamente dita.....	140
Etapa de interpretação dos resultados.....	141
A.4.3. Fase de Projeto: sistemas CAD	143
Especificação dos componentes do molde	143
Especificação da cavidade	151
A.4.4. Fase de Fabricação: sistemas CAM	161
Importação do modelo gerado em sistemas CAD	161
Planejamento do processo de usinagem	161
Simulação das trajetórias	166
Pós-processamento para a geração do programa NC .	170
Transferência dos programas para o controle da máquina-ferramenta	171
A.4.5. Integração: problemática das interfaces neutras ...	171

Parte 5: Características de um sistema CAx típico para a área de

moldes de injeção	179
--------------------------------	------------

A.5.1.	Considerações iniciais	179
A.5.2.	Módulos básicos e respectivas características	183
	Módulo CAE 2D/3D	184
	Módulo CAD-2D	185
	Módulo CAM-2½D	187
	Módulo CAD-3D	188
	Módulo CAM-3D	189
A.5.3.	Módulos ou programas adicionais	191
	Digitalização de modelos físicos	192
	Fresamento simultâneo nos 5-eixos de usinagem ...	193
	Medição NC em Máquinas de Medir por Coordenadas..	195
	Prototipagem rápida de modelos	196
Parte 6:	Considerações finais	200

Parte 1

Conceitos Básicos

A.1.1. Tipos de sistemas CAx

O surgimento das tecnologias auxiliadas por computador levou à criação de uma série de abreviações (siglas) visando representar as áreas beneficiadas com o referido auxílio computacional. Assim sendo, surgiram, dentre outras, as siglas **CAE** - Computer Aided Engineering (Engenharia Auxiliada por Computador), **CAD** - Computer Aided Design (Projeto Auxiliado por Computador), **CAPP** - Computer Aided Process Planning (Planejamento do Processo Auxiliado por Computador), **CAM** - Computer Aided Manufacturing (Manufatura/Fabricação Auxiliada por Computador), **CAQ** - Computer Aided Quality (Qualidade Auxiliada por Computador) e **CIM** - Computer Integrated Manufacturing (Manufatura/Fabricação Integrada por Computador). Em função da existência de controvérsias sobre a abrangência das fronteiras de atuação de cada uma das siglas citadas e no sentido de se obter uma melhor compreensão sobre as tecnologias que apoiam especificamente as atividades de concepção, projeto e fabricação de moldes de injeção, serão adotados os seguintes conceitos:

Sistema ou Módulo CAE

Trata-se de um ou mais programas computacionais (software), que objetivam dar apoio às atividades relacionadas à **fase de concepção**, dentro do processo de desenvolvimento de um molde, através da simulação de problemas de engenharia, principalmente, mediante a realização de cálculos matemáticos complexos, a partir de métodos numéricos de resolução, como o FEM - "Finite Element Method" (Método dos Elementos Finitos).

Sistema ou Módulo CAD

Abrange programas computacionais que visam auxiliar o projetista em atividades típicas da **fase de projeto**, como por exemplo, definição do "design" (estilo) da peça de plástico a ser injetada, representação da geometria da cavidade (macho e fêmea) e/ou elaboração de desenhos técnicos e especificação de listas de material.

Sistema ou Módulo CAM

Um sistema CAM engloba o conjunto de programas voltados a apoiar as atividades de processistas e programadores de máquinas de comando numérico, na **fase de fabricação** do molde, principalmente, através da especificação de planos de processo, simulação das trajetórias de ferramentas de corte e geração de programas de comando numérico (programas NC) para

operações de usinagem para os processos de fresamento, torneamento, furação e eletroerosão a fio.

Sistema CAE/CAD/CAM

Neste caso, tratam-se de sistemas que englobam uma série de programas que, muitas vezes, de forma **integrada**, ou seja, a partir de uma base de dados centralizada e única, permitem auxiliar **diversas etapas** no processo de desenvolvimento de um produto, através dos diferentes *módulos* CAE, CAD e CAM oferecidos. A filosofia *modular* é uma tendência que vem sendo adotada, cada vez mais, pelos desenvolvedores/fornecedores de sistemas CAX, uma vez que facilita a introdução desta tecnologia nas empresas, pois permite que o sistema seja moldado de acordo com os interesses específicos das mesmas. Assim, dependendo dos módulos oferecidos pelos sistemas, estes ainda podem ser denominados de CAE/CAD ou CAD/CAM.

Para exemplificar melhor os diferentes conceitos CAE, CAD e CAM descritos anteriormente, a **Tabela A.I** apresenta alguns sistemas CAX que vêm sendo comercializados no Brasil, onde pode ser verificado aqueles que possuem módulos voltados para atender o setor de moldes de injeção. A **Tabela A.II** mostra outros sistemas CAX que, embora estejam sendo comercializados no mercado internacional, são menos encontrados no Brasil.

Nome do Sistema	Módulos	Origem	Fornecedor	Representante no Brasil	Aplicativos p/ áreas
Autocad	CAD	USA	Autodesk	Digicon	diversas
Smartcam	CAD/CAM	USA	Point Control	Digicon	mecânica, moldes
Euclid-IS	CAD/CAM	França	Matra Datavision	Compugraph	diversas, moldes
Duct5	CAD/CAM	Inglat.	Delcam Internat.	Delcam do Brasil	diversas, moldes
I-DEAS	CAE/CAD/CAM	USA	SDRC	Multcad	diversas, moldes
Caeds	CAD/CAM	USA	IBM	IBM do Brasil	diversas, moldes
Intergraph	CAD/CAM	USA	Intergraph	Sisgraph	diversas
UnigraphicsII	CAD/CAM	USA	McDonnel Douglas	EDS do Brasil	diversas
C-Mold	CAE/CAD	USA	Advanced CAE	Politek	moldes
Moldflow	CAE/CAD	Austrália	Moldflow Austrália	Camanho Consultores	moldes
Cimatron90	CAD/CAM	Israel	Cimatron Ltd.	Sycad	mecânica, moldes
Cadkey	CAD/CAM	USA	Cadkey Inc.	Asconggraph	diversas
CATIA	CAD/CAM	USA	IBM	IBM do Brasil	diversas
CADAM	CAD/CAM	USA	IBM	IBM do Brasil	diversas
Microstation	CAD	USA	Intergraph	Itis Informática	diversas

Tabela A.I - Exemplos de sistemas CAx comercializados no Brasil.

Nome do Sistema	Módulos	Origem	Fornecedor	Aplicativos p/ área
Tebis	CAD/CAM	Alemanha	Tebis	moldes
STRIM100	CAD/CAM	França	Cisigraph	mecânica, moldes
HappyCAM	CAD/CAM	USA	HappyUSER	diversas, moldes
UNC 7780	CAD/CAM	Alemanha	UNC software	moldes
Sabre5000	CAD/CAM	USA	Gerber	mecânica, moldes
Diaklid/ Euklid	CAD/CAM	Suíça	Fides	moldes
Anvil-5000	CAD/CAM	USA	MCS	mecânica, moldes
CADDS 4X	CAD/CAM	USA	Prime	diversas, moldes
Procad	CAD	Alemanha	Mannesmann Procad	diversas
Konsys	CAD/CAM	Alemanha	Strässle	diversas, moldes
WOP-NC	CAD/CAM	Alemanha	rwt	mecânica
PEPS-2	CAD/CAM	Alemanha	IFIA	mecânica
Solution3000	CAD/CAM	USA	Macrotron	moldes
MultiCADD	CAD/CAM	Alemanha	Command GmbH	moldes
Logocad	CAD	USA	Logotec	diversas
ME-Serie	CAD	USA	Hewlett- Packart	diversas
CADdy	CAD/CAM	USA	Ziegler Instruments	diversas
TDM 3000	CAD/CAM	Alemanha	Hurco GmbH	moldes

Tabela A.II - Alguns sistemas CAX comercializados no exterior, além dos apresentados na Tabela A.I.

A.1.2. Representação da peça em sistemas CAx

A característica básica de trabalho, através de sistemas CAx, consiste em representar, na tela do computador, a forma e as dimensões da geometria da peça (produto) mediante uma operação conhecida por *modelamento*, *modelagem* ou *moldação*¹.

O modelamento de um produto pode ser feito de forma bidimensional (2D) ou tridimensional (3D). Adicionalmente, dependendo da maneira com que o sistema representa as informações de modelamento, em sua estrutura interna de dados, pode-se distinguir, ainda, entre modelamento "wireframe", de superfícies ou de sólidos, conforme ilustrado na Figura A.1.

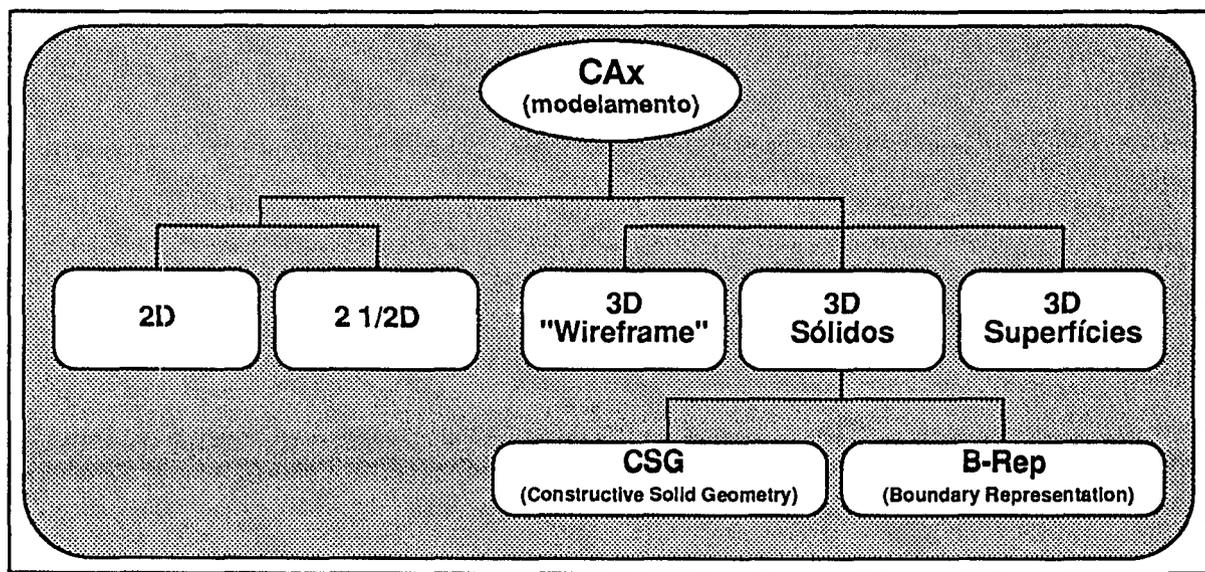


Figura A.1 - Esquema representativo das formas básicas de modelamento em sistemas CAx [61, 62].

¹Termo mais adotado em Portugal.

Modelamento planar 2D e 2½D

Conforme sugere o nome, trata-se de modelar a geometria da peça somente em duas dimensões (2D). O modelamento é feito através de elementos geométricos, tais como: pontos, retas, arcos, círculos, elipses, hipérbolas, parábolas, curvas tipo Splines² e conjunto de pontos unidos por retas, denominados de "polyline". Sistemas que oferecem somente este tipo de modelamento são conhecidos por sistemas 2D.

Sistemas que, adicionalmente, permitem que a espessura da peça seja representada na tela, apesar do modelamento ser efetuado somente de forma bidimensional, são classificados de 2½D [62]. É o caso, por exemplo, de alguns sistemas CAD, que permitem o modelamento da altura da peça através do deslocamento de toda a geometria 2D modelada no plano, no sentido do eixo Z do sistema de coordenadas.

Outro exemplo é o caso de alguns sistemas CAD/CAM, onde a visualização da simulação dos movimentos de sobe-e-desce da ferramenta, no sentido do eixo Z, pode ser representada com base nas informações, fornecidas pelo usuário ao sistema, do posicionamento das ferramentas em planos paralelos ao plano onde a geometria 2D, a ser usinada, foi modelada.

²Spline é uma função, caracterizada por um conjunto de polinômios, que permite representar curvas, descritas a partir de pontos de controle que lhes confere uma maior ou menor suavidade, segundo métodos matemáticos descritos por Bézier, Coons e outros [63, 64, 65].]

Modelamento espacial 3D

Conforme mostra a Figura A.1, o modelamento tridimensional (3D) da geometria de uma peça pode ser descrito através de três tipos básicos de modeladores. Muitos sistemas adotam um ou outro tipo de modelador, dependendo da faixa de mercado para o qual estão direcionados. Entretanto, é de se notar cada vez mais a tendência para sistemas híbridos, que permitem modelar a geometria mesclando os diferentes tipos de modeladores [61, 63].

Modelador "Wireframe"

Da mesma forma que o modelamento planar 2D, o modelador "wireframe" representa somente os pontos e as arestas da peça, a partir dos elementos geométricos já mencionados, porém, estas podem ocupar qualquer posição, dentro de um sistema de coordenadas tridimensional. Em um modelador tipicamente "wireframe", o projetista (usuário) não consegue obter informações sobre as superfícies e muito menos características do volume formado pelas arestas (fronteiras) da peça. A representação e manipulação de geometrias através deste modelo não requer grande capacidade computacional. Porém, dificulta a interpretação visual do objeto gerando ambiguidades.

Modelador de Superfícies

Este tipo de modelador possibilita representar, além dos pontos e das arestas, as superfícies que formam a peça. Neste caso, a capacidade computacional requerida é maior que a do modelador "wireframe". É importante mencionar que, o modelamento de um conjunto de superfícies formando um objeto "volumétrico" não significa que o projetista consiga obter informações sobre, por exemplo, o volume ou o centro de gravidade da peça modelada, uma vez que se trata de uma peça "oca" e não de um sólido propriamente dito. Além de **superfícies planas**, podem ser modeladas: "**ruled surfaces**" (*superfícies regradas*) geradas através da translação, de uma curva qualquer, ao longo de uma reta, ou ainda, através da interpolação de duas curvas unidas por retas (**Figura A.2**) e "**freeform surfaces**" ou "**sculptured surfaces**" (*superfícies livres ou esculturais*), geradas a partir de curvas tipo Splines formando um conjunto de pontos no espaço, que quanto maior, mais aproximada será sua representação da peça real (**Figura A.2**). Adicionalmente, podem ser modeladas **superfícies de revolução**, a partir da rotação de uma curva (ou perfil) em torno de um eixo ou curva de referência (**Figura A.3**), bem como, **superfícies extrudadas**, através do deslocamento de uma curva ou área, seguindo uma dada direção definida por um eixo ou uma curva auxiliar qualquer (**Figura A.4**). Outras características de modelamento de superfícies serão apresentadas mais adiante, quando da descrição das

facilidades de modelamento necessárias especificamente para a área de moldes de injeção, na Parte 4.

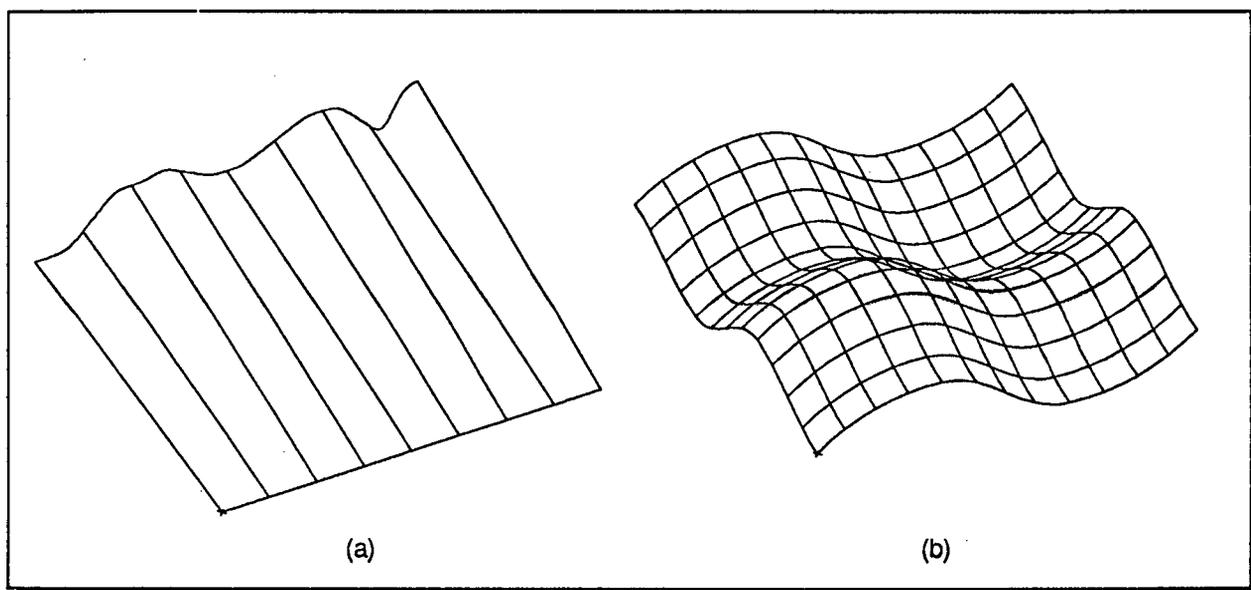


Figura A.2 - Exemplos de superfícies do tipo (a) "ruled surface" e (b) "freeform surface" [12].

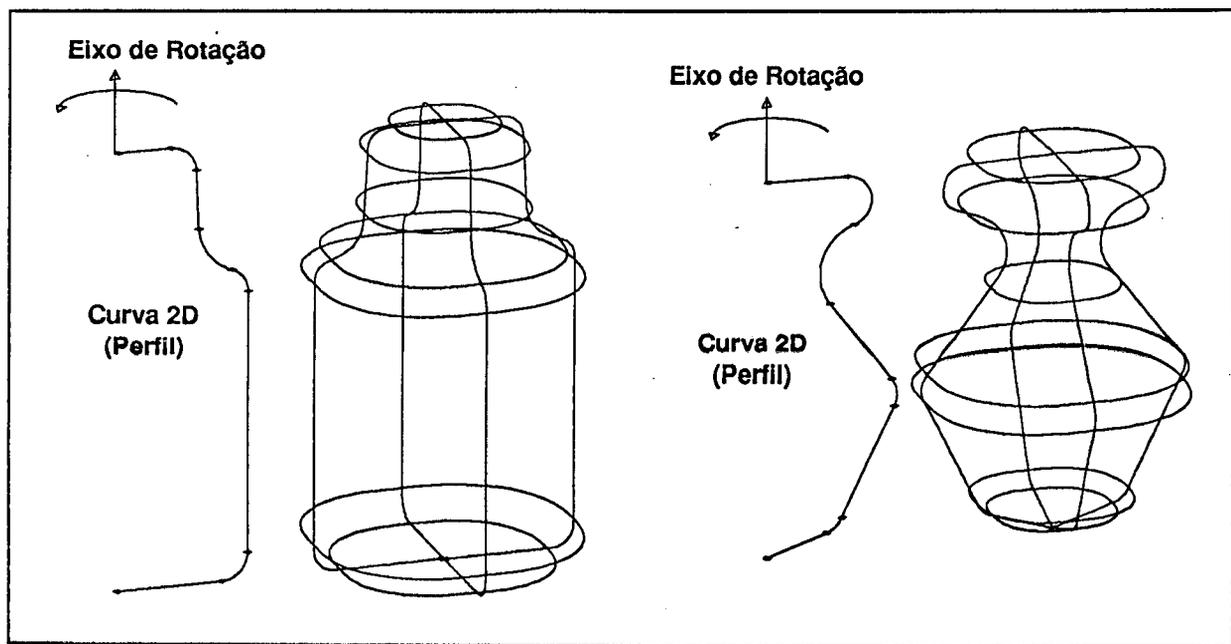


Figura A.3 - Exemplos de superfícies de revolução, obtidas a partir da rotação de uma curva (perfil) 2D [12].

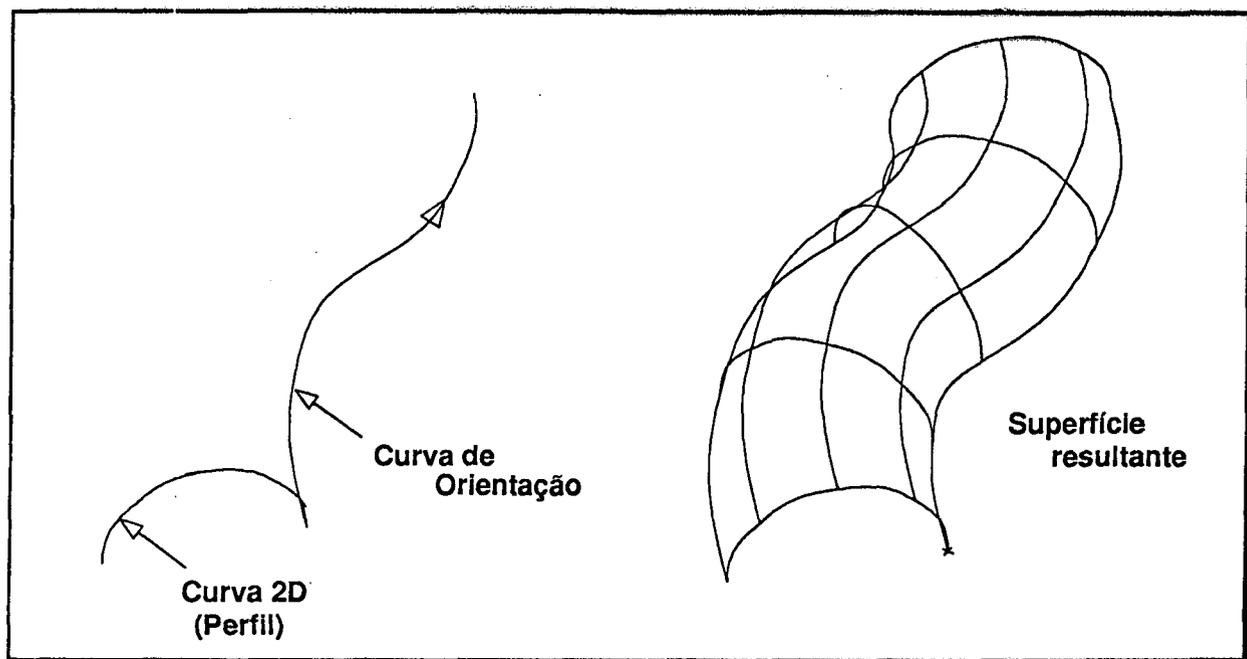


Figura A.4 - Representação de uma superfície obtida pela "extrusão" de uma curva (perfil) 2D.

Modelador de Sólidos

Em se tratando de um modelador de sólidos, a representação da peça pode ser obtida, basicamente, de duas formas: "B-Representation" e CSG (Constructive Solid Geometry).

No caso de modelamento com a técnica de "B-Representation" o processo é semelhante ao modelamento de superfícies, tendo como diferença básica que no modelador de sólidos o sistema armazena as informações relacionadas ao volume da peça, sendo possível ao projetista obter informações sobre, por exemplo, o momento de inércia, o centro de gravidade, etc.

No caso da técnica CSG, o modelamento é feito a partir de geometrias com formas pré-definidas, denominadas de *primitivas*, tais como, cubo, cilindro, cone, esfera, pirâmide e toroide (Figura A.5), que podem ser manipuladas, através das chamadas *operações booleanas*, conforme ilustrado na Figura A.6. Convém citar que o modelamento através de "B-Representation" também consiste na combinação de primitivas, mas neste caso, durante o processo de modelamento, o modelo de representação interna dos dados armazena, adicionalmente, as informações sobre os pontos, as arestas e as superfícies de cada primitiva [61].

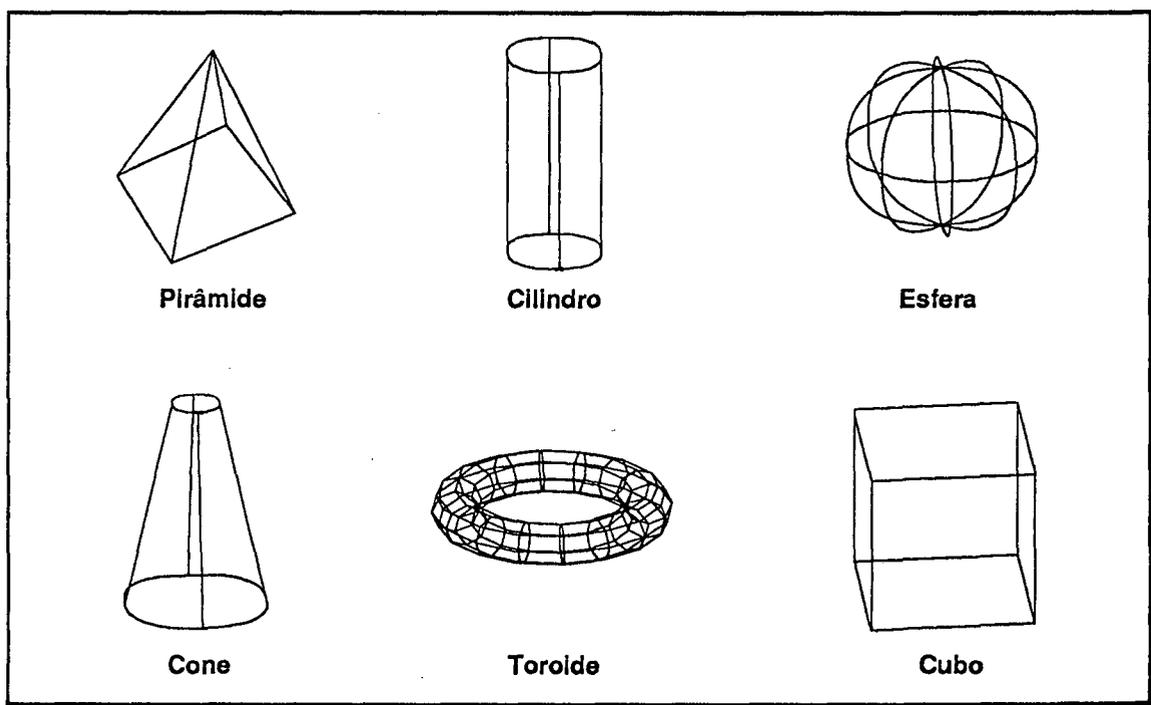


Figura A.5 - Geometrias 3D básicas conhecidas por *primitivas*[12, 61, 66].

Para melhor compreender a diferença entre os modeladores descritos anteriormente, a **Figura A.7** apresenta uma

comparação, em ordem de grandeza, sob aspectos que envolvem tempo gasto para a entrada de dados no sistema, tempo para o sistema processar as informações e capacidade de armazenamento requerida, no caso de uma peça considerada simples. A **Figura A.8** mostra os resultados obtidos através do modelamento de um cubo segmentado por um plano.

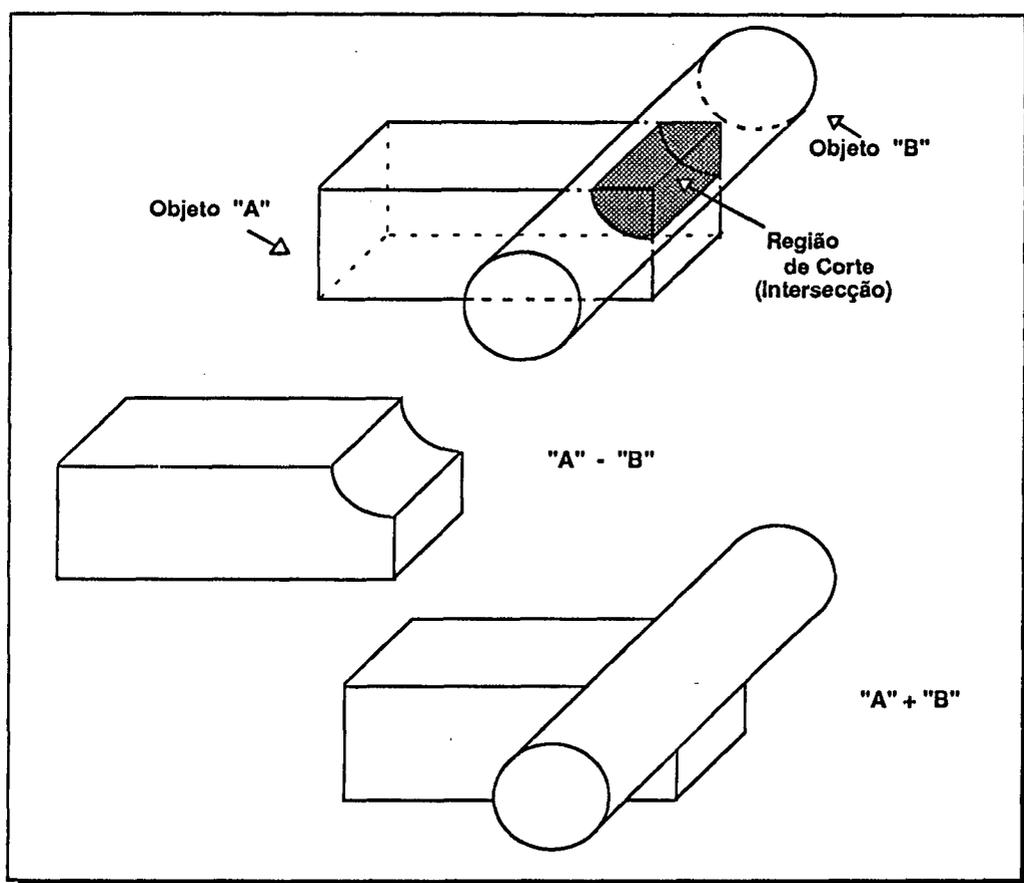


Figura A.6 - Exemplo de operações booleanas no modelamento de sólidos.

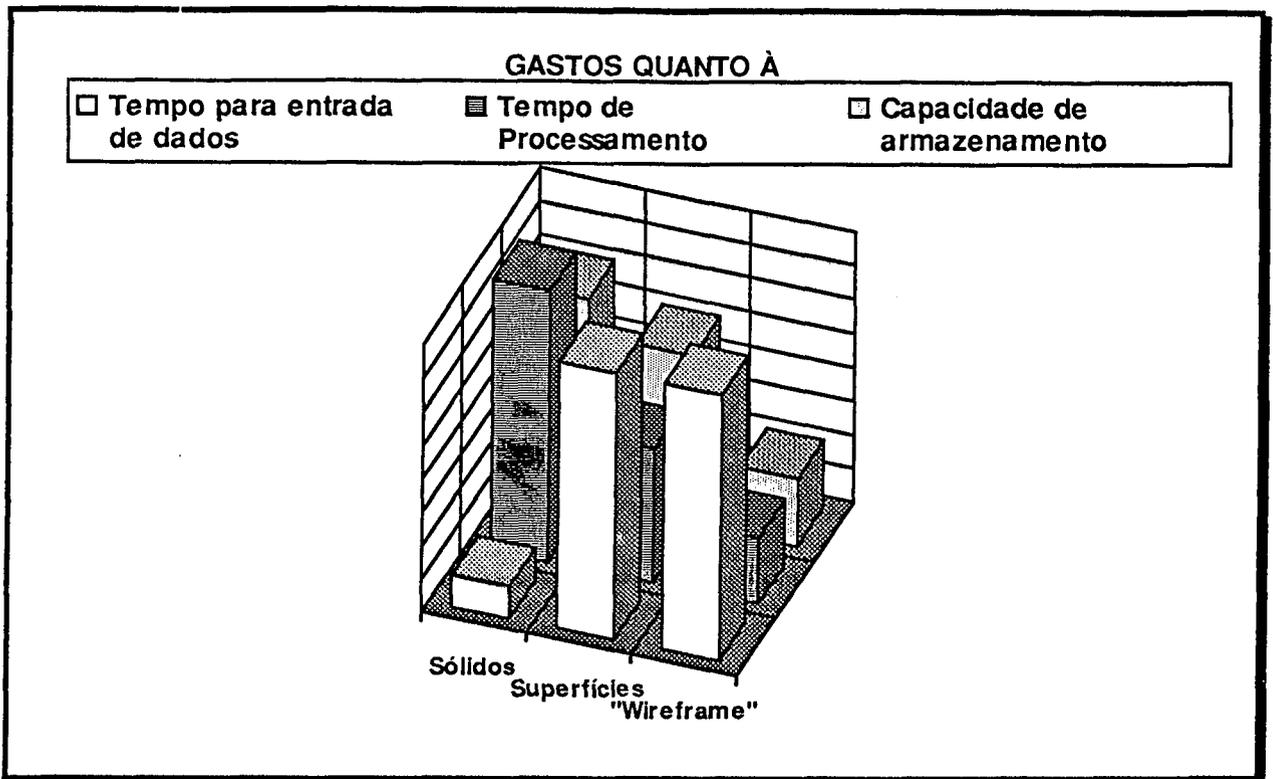


Figura A.7 - Comparação entre modeladores de sólidos, de superfícies e "wireframe" [62].

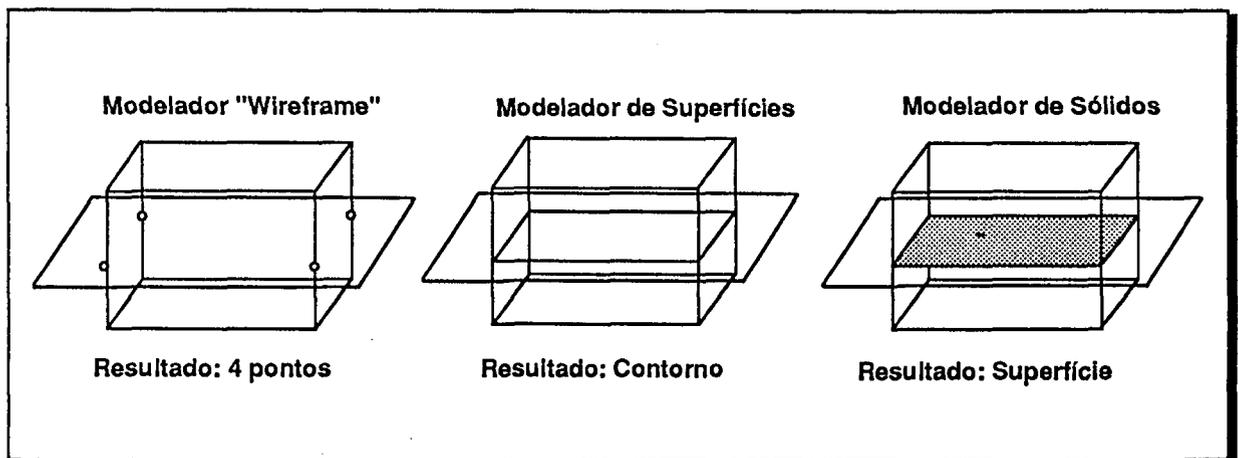


Figura A.8 - Representação dos diferentes tipos de resultados obtidos através de modeladores de geometria 3D [63].

A.1.3. Recursos básicos empregados para facilitar a visualização no modelamento através de sistemas CAX

O processo de modelamento de uma peça em um sistema CAX se constitui em uma nova filosofia de trabalho para a empresa, bastante distinta, por exemplo, daquela empregada pelo projetista em uma prancheta, de dimensões em torno de 1m x 1,5m. Em princípio, pode ser difícil entender como é possível efetuar as tarefas corriqueiras de projeto de moldes em uma tela de dimensões bem menores. Para tanto, os sistemas apresentam alguns recursos, através de funções básicas, que objetivam facilitar o trabalho de modelamento e a visualização da peça na tela, quais sejam:

Função "Window" (janela)

Considere que um molde, de dimensões 650x700mm esteja sendo modelado em escala 1:1, em um sistema CAD 2D, de modo que as dimensões da área de modelamento correspondam às dimensões máximas da tela do computador, como se esta fosse uma janela. Assim sendo, torna-se impossível visualizar o molde como um todo. Entretanto, para modelar ou visualizar outra área do projeto, através desta função, é possível movimentar a "janela" conforme ilustra a **Figura A.9**. Muitos sistemas permitem que mais de uma janela seja definida, de modo que cada uma mostre uma área diferente da peça que está sendo modelada ou mesmo de peças distintas [61].

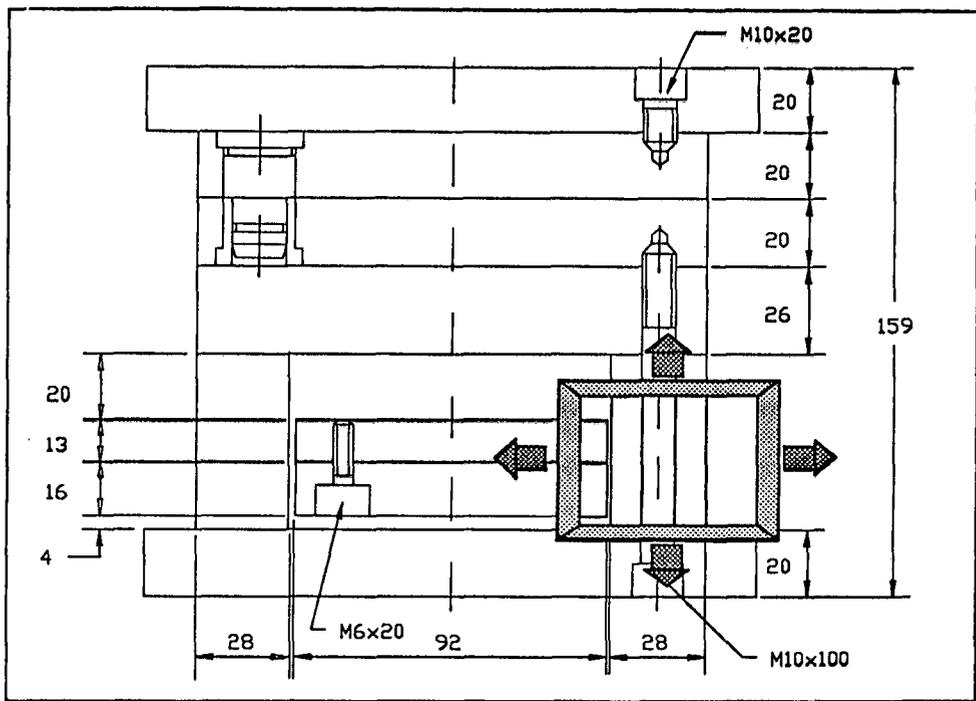


Figura A.9 - Exemplo que caracteriza a função "Window".

Função "Zoom"

Trata-se de uma função que permite ampliar e reduzir a área de visualização. O princípio de funcionamento pode ser comparado ao de uma objetiva de uma máquina fotográfica, cuja imagem é aproximada ou afastada do operador. Desta forma, o usuário do sistema CAx pode modelar detalhes da peça em áreas extremamente pequenas, bem como, se afastar da peça que está sendo modelada para modelar, por exemplo, uma outra peça ou detalhe especial ao lado daquela. A Figura A.10 exemplifica a finalidade da função "zoom".

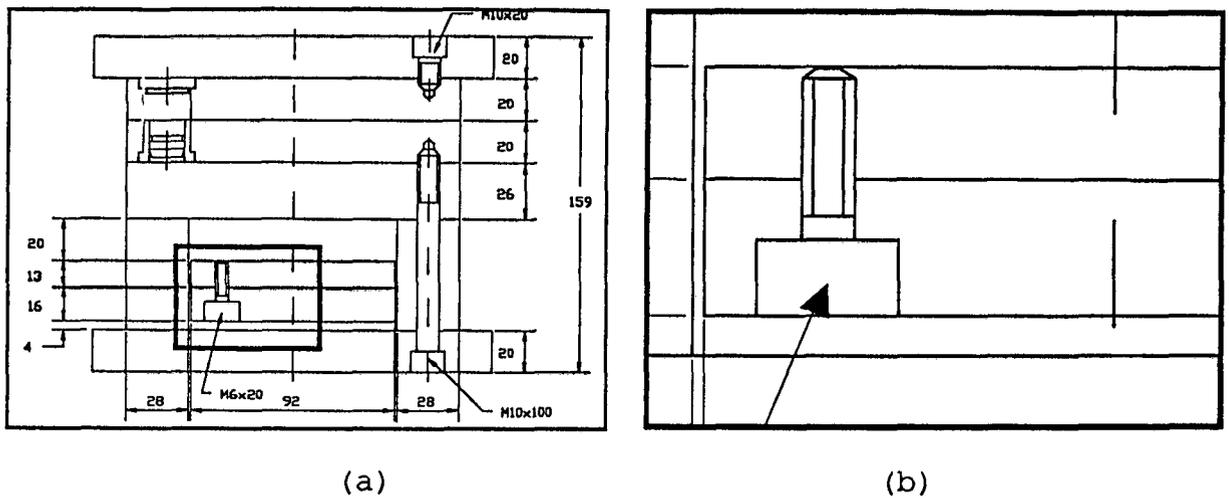


Figura A.10 - Exemplo para caracterizar a função "Zoom" sendo (a) definição da área a ser ampliada e (b) visualização após a função ter sido executada.

Função "layer" (níveis/camadas)

Através desta função, na medida em que a peça vai sendo modelada, as informações, por exemplo, de diferentes detalhes de geometria da peça ou de dimensionamento (cotas, textos, símbolos, etc) podem ser armazenadas, internamente no sistema, separadamente, de modo que a sua visualização, na tela do computador, possa se dar isoladamente, de acordo com a necessidade do usuário. A filosofia embutida nesta função pode ser melhor entendida através da representação mostrada na **Figura A.11**. É como se partes distintas da peça fossem sendo modeladas em diferentes folhas de papel-manteiga, dispostas umas sobre as outras, caracterizando diferentes níveis ou camadas.

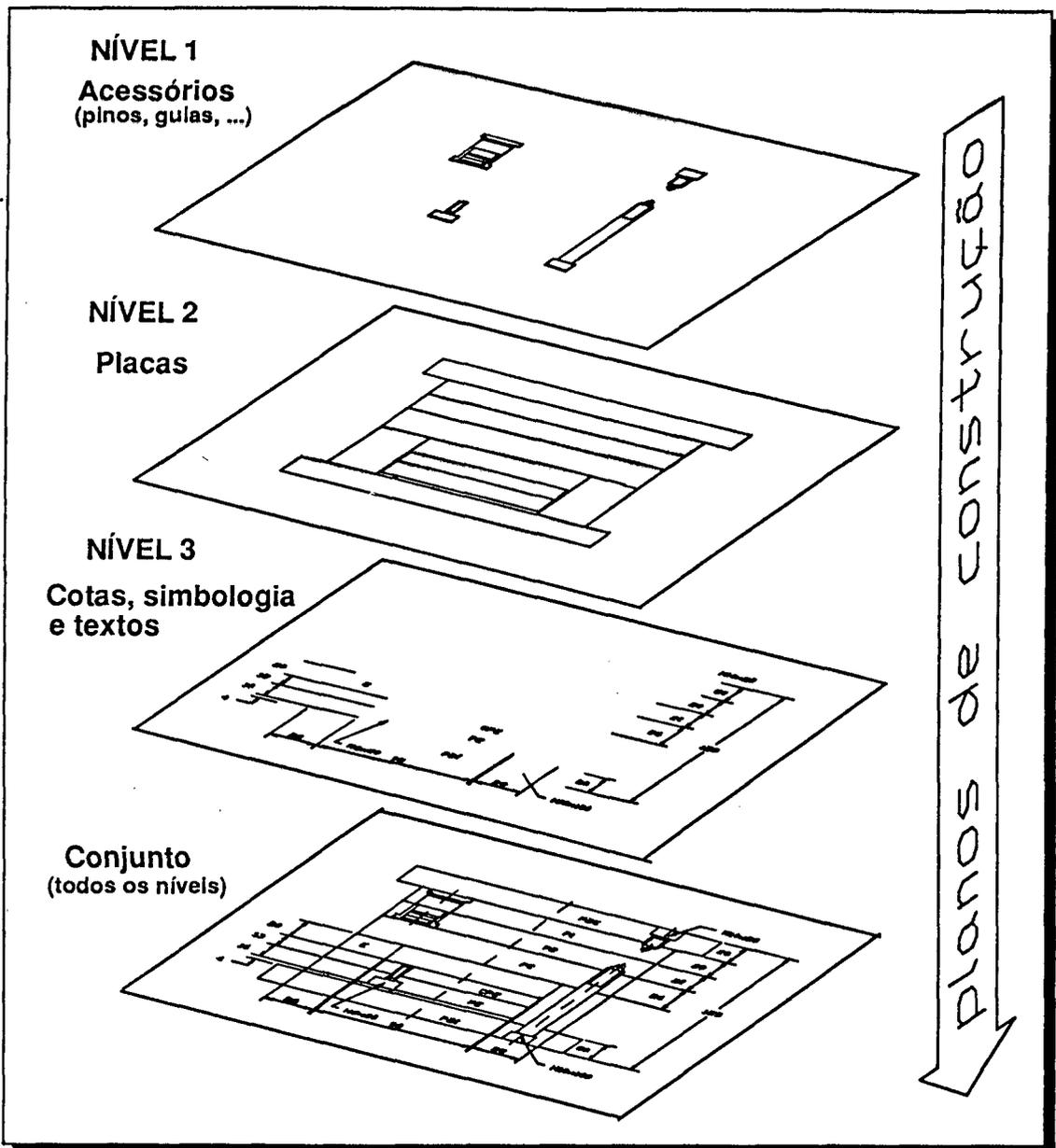


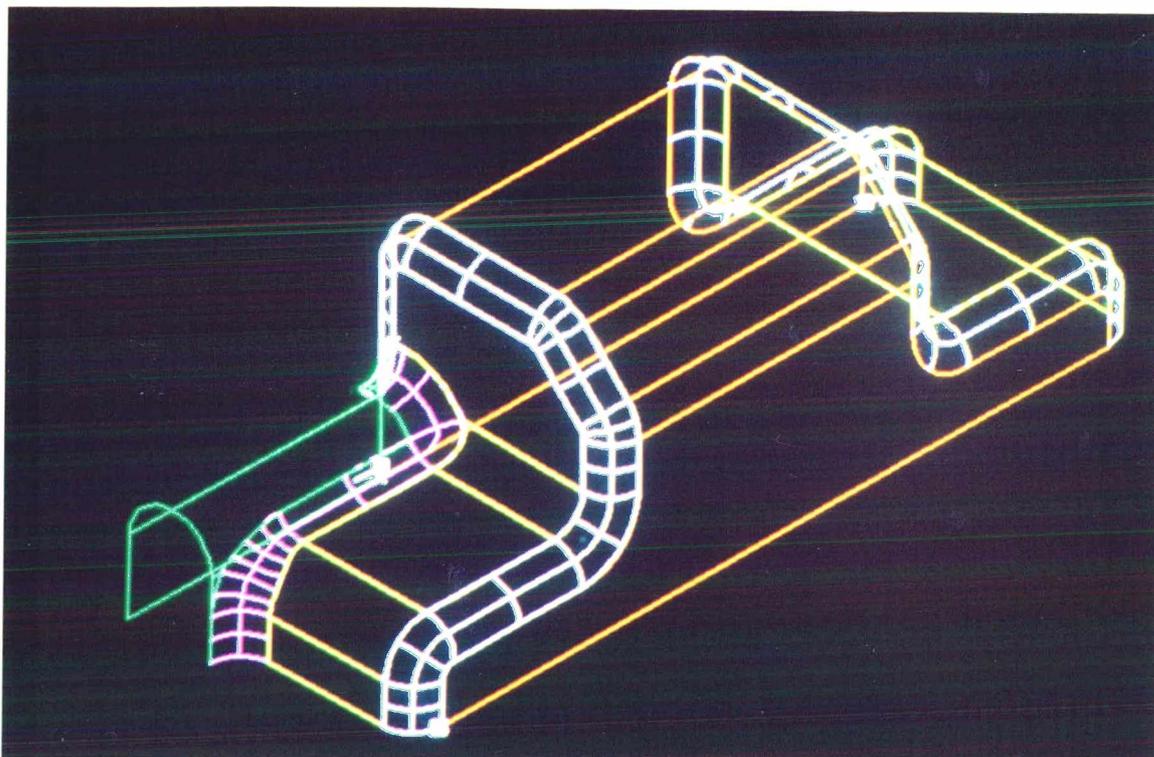
Figura A.11 - Exemplo da filosofia de modelamento através de "layers" (níveis/camadas).

Através deste procedimento a atividade de modelamento fica bastante facilitada, principalmente, quando o projeto contém um número relativamente grande de informações, como é o caso da elaboração dos desenhos técnicos referentes à montagem dos componentes do molde, em um sistema CAD 2D, ou ainda, quando da realização da simulação da usinagem da

cavidade, em um sistema CAM, para distinguir entre superfícies que descrevem a geometria da cavidade e superfícies modeladas para auxiliar no posicionamento de ferramentas, ao se especificar uma região a ser usinada (maiores detalhes a respeito são descritos na parte 3). A técnica de "layers" facilita e agiliza o acesso às informações, por parte do computador, uma vez que, para visualizar um dado detalhe, não é preciso representar, na tela, o desenho completo da peça, bastando ativar somente os desenhos modelados no "layer" desejado. Adicionalmente, a possibilidade de representar, em cada "layer", regiões com cores diferentes, contribui ainda mais para facilitar o trabalho de modelamento, por parte do usuário.

Função "shading" (sombreamento)

Trata-se de um recurso de visualização, que confere à peça já modelada um aspecto de modelo maciço, semelhante à visualização da peça real. O emprego deste recurso é extremamente importante para a área de moldes de injeção, uma vez que, facilita a detecção de erros de modelamento, principalmente, em peças com geometrias bastante complexas [12], seja na fase de concepção, quando das análises de simulação do processo de injeção, na fase de projeto, quando do modelamento do macho ou da fêmea, ou na fase de fabricação, quando da simulação das trajetórias de usinagem. A **Figura A.12** mostra um exemplo de visualização, sem e com recursos de "shading", de uma peça modelada em um sistema CAD.



(a)

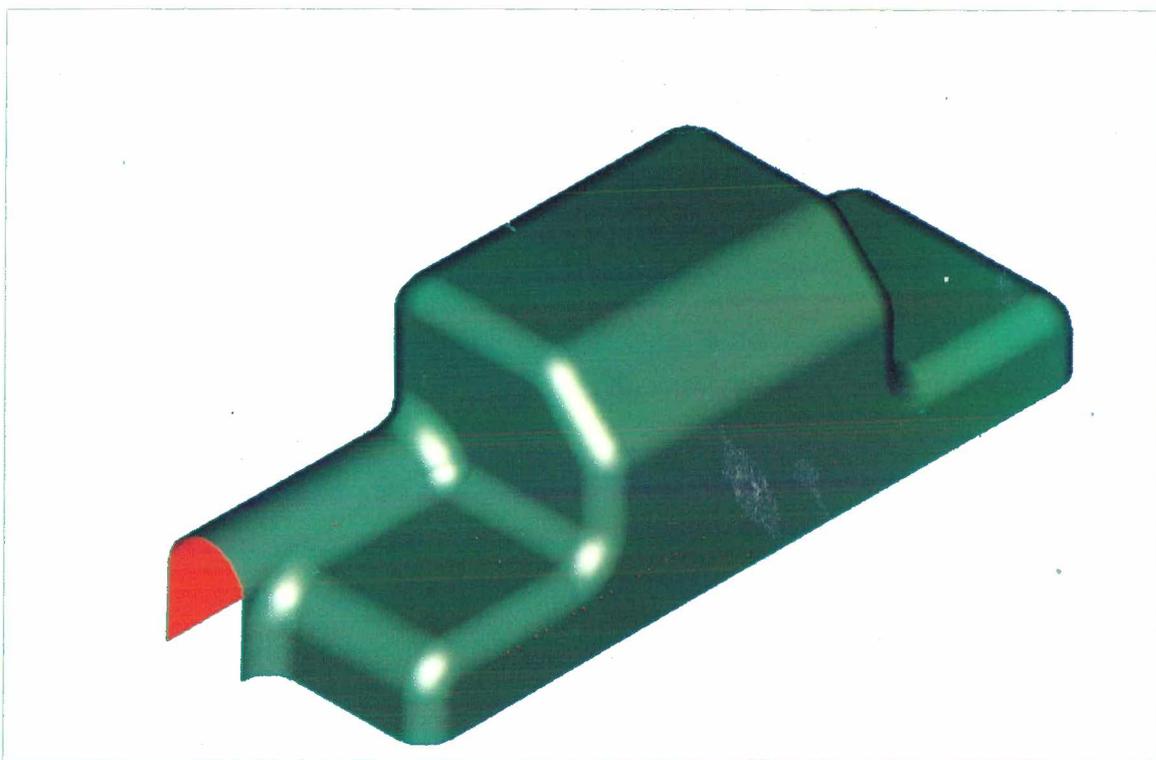


Figura A.12 - Exemplo de visualização de uma peça de plástico, modelada em um sistema CAD, (a) sem e (b) com recursos de "shading".

Parte 2

Sistemas CAx na área de moldes de injeção: campos de atuação

Uma visão global dos campos de atuação de sistemas/módulos CAE, CAD e CAM para o desenvolvimento de moldes de injeção é mostrada nas Figuras A.13 e A.14 onde é possível observar que o auxílio dado por estas tecnologias ocorre ao longo de todo o processo de desenvolvimento, de modo que, antes mesmo do início da produção propriamente dita, existem diversos recursos de software que simulam as principais atividades das fases citadas. Para um maior aprofundamento sobre o processo auxiliado por sistemas CAx, características inerentes a cada fase serão descritas a seguir.

A.2.1. Fase de Concepção

O principal objetivo da fase de concepção é definir o princípio de funcionamento do molde de injeção, através da especificação do seu completo dimensionamento, procurando encontrar a melhor solução a ser adotada, sob o ponto de vista de projeto de engenharia.

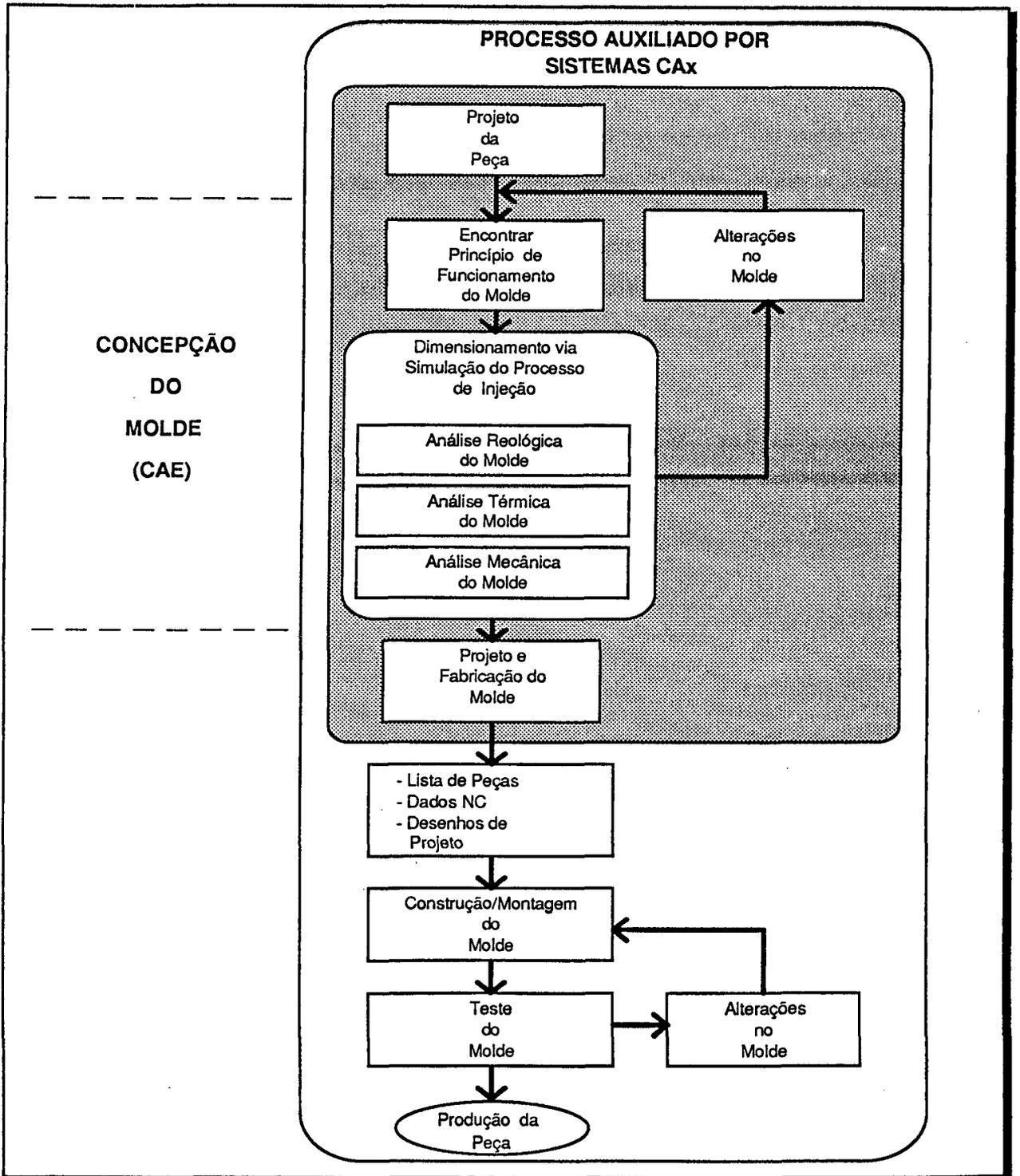


Figura A.13 - Principais etapas envolvidas na produção de moldes de injeção, pelo processo via sistemas CAx, enfatizando a fase de concepção do molde [14].

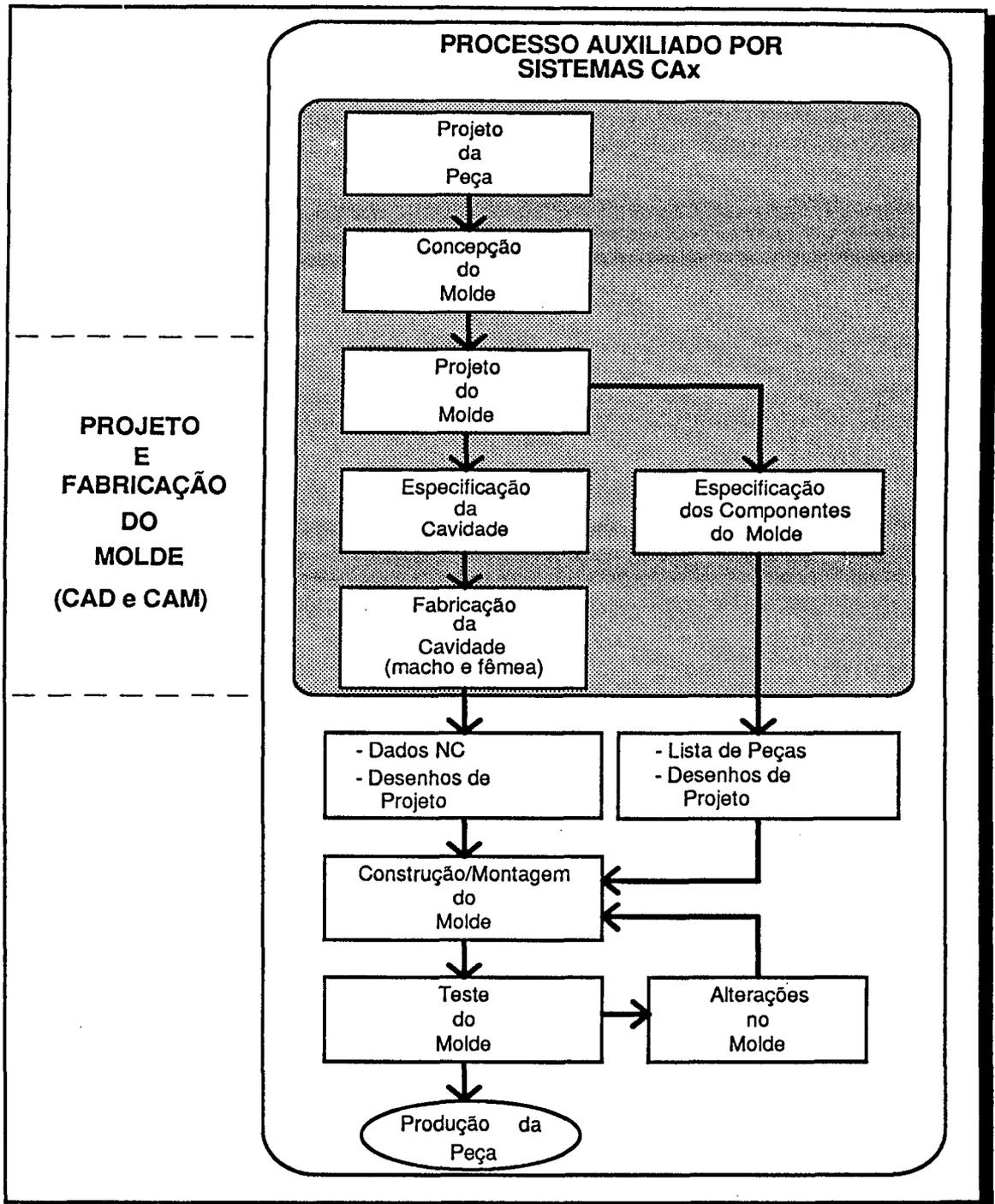


Figura A.14 - Principais etapas envolvidas na produção de moldes de injeção, pelo processo via sistemas CAx, enfatizando as fases de projeto e fabricação dos moldes.

Através de diversos programas computacionais, nos chamados sistemas CAE, o projetista pode obter importantes informações, sobre o que ocorre nas diferentes fases do ciclo de injeção, que lhe permita analisar a concepção do molde sob aspectos reológicos, térmicos e mecânicos. A **Figura A.15** mostra as áreas de aplicação de sistemas CAE.

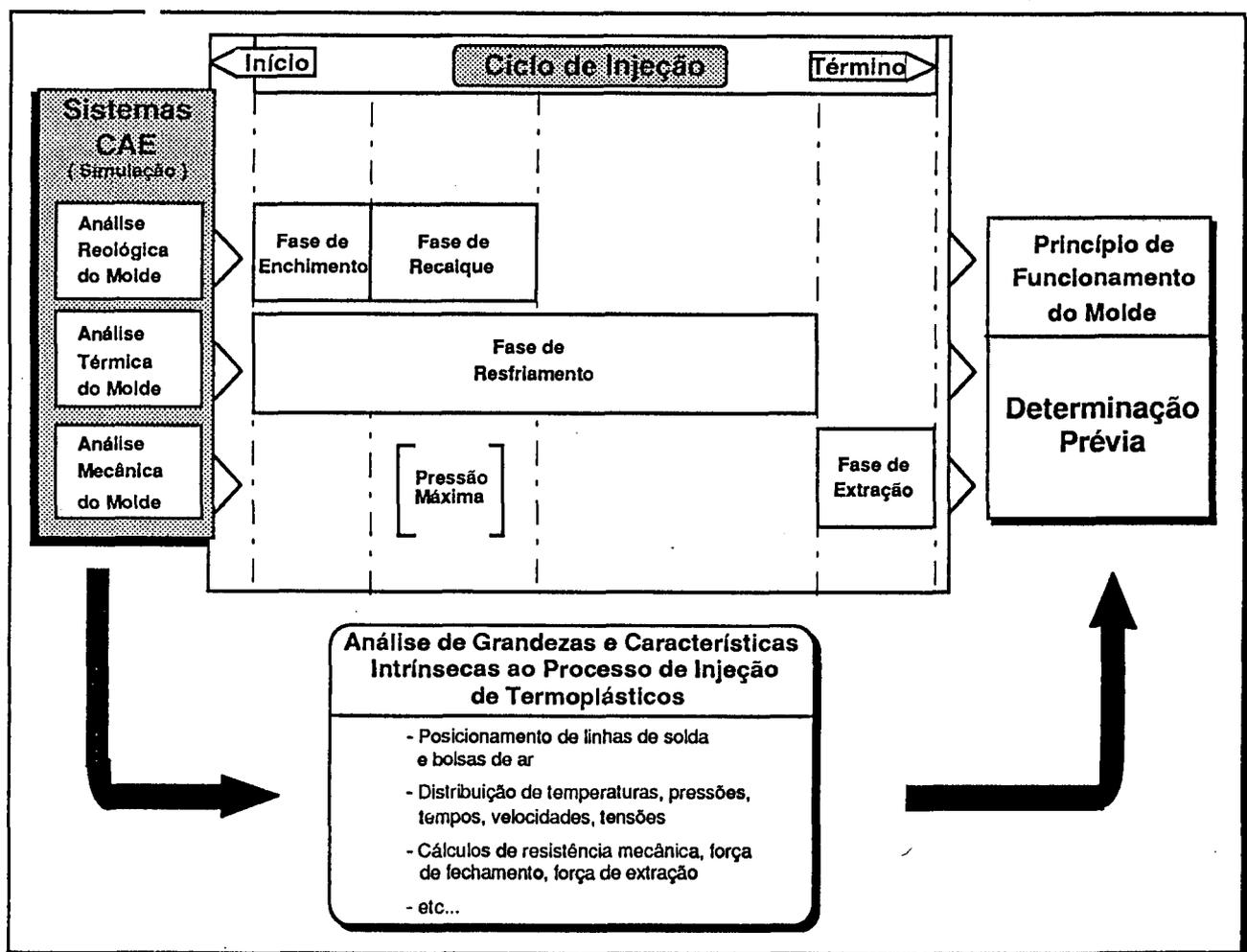


Figura A.15 - Áreas de aplicação de sistemas CAE no setor de moldes de injeção para termoplásticos [67, 68].

Análise Reológica

Os programas voltados à **análise reológica** simulam as condições de escoamento do material de plástico, pelos canais de alimentação e interior da cavidade do molde, durante as fases de enchimento e de recalque [67, 68]. Em sistemas 3D, o processo de preenchimento da cavidade pode ser visualizado, na tela do computador, de forma colorida e dinâmica, semelhante ao que ocorre na prática, através da produção de peças parcialmente injetadas no molde, no processo conhecido por injeção progressiva, conforme ilustrado na **Figura A.16**. Mediante a representação gráfica de, por exemplo, distribuição de linhas isocrônicas, isobáricas e isotérmicas sobre as regiões da cavidade modelada do molde, no sistema CAE, o projetista pode detectar e alterar regiões inadequadas, tais como, as que apresentam bolhas ou inclusões de ar, bem como, linhas de solda em posições indesejadas, antes mesmo da fabricação do molde [14, 40, 68].

Para a realização da simulação propriamente dita, o ponto de partida consiste em modelar a geometria da cavidade. O modelamento consiste em representar a superfície média que especifica a espessura da peça de plástico [69, 70], conforme mostrado na representação da **Figura A.17**. Adicionalmente, sobre o modelo que descreve a geometria, em forma de "casca", o sistema necessita que seja gerada uma malha, normalmente de elementos finitos (FEM), que servirá de base para os cálculos reológicos. A **Figura A.18** mostra uma representação de

uma peça/cavidade após ter sido gerada a malha de elementos finitos.

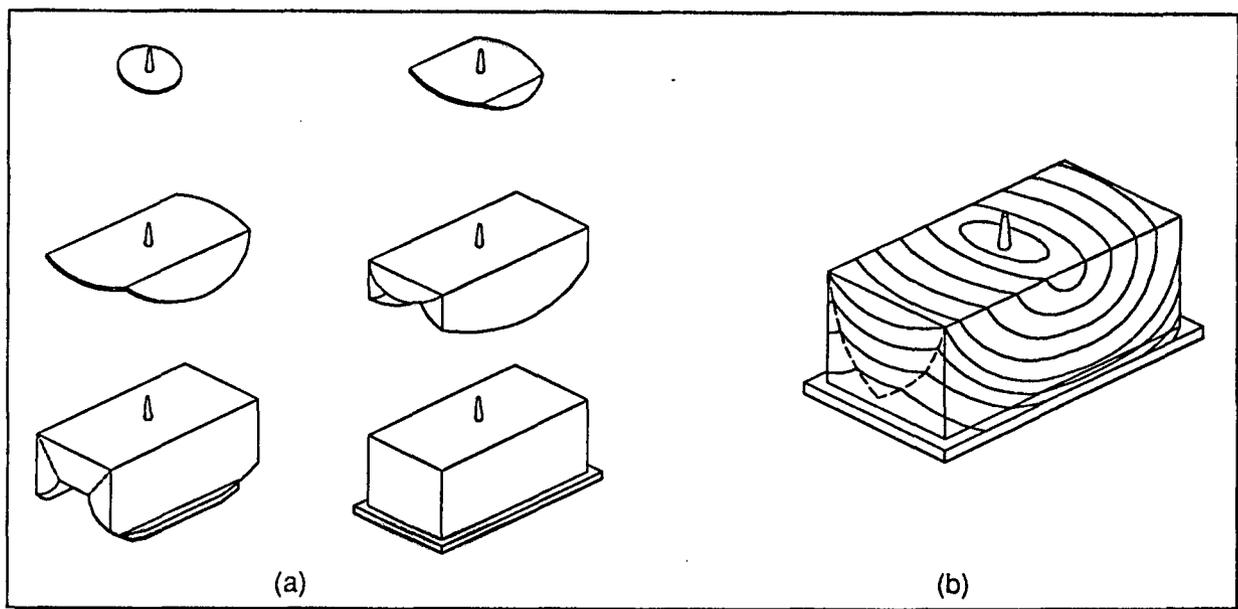


Figura A.16 - (a) Representação da verificação de escoamento do plástico através do processo de injeção progressiva e (b) distribuição de linhas isocrônicas [68].

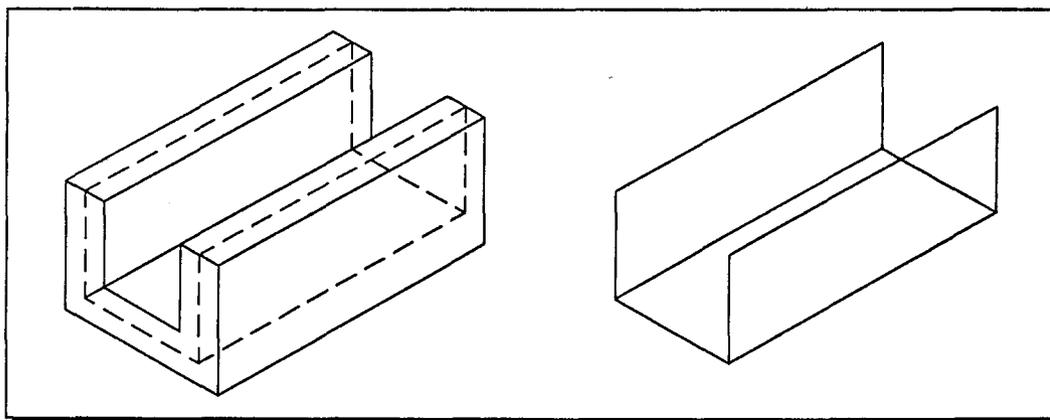


Figura A.17 - Representação simplificada do modelamento de superfícies médias ("casca") para a realização de análises reológicas em sistemas CAE [68, 69].

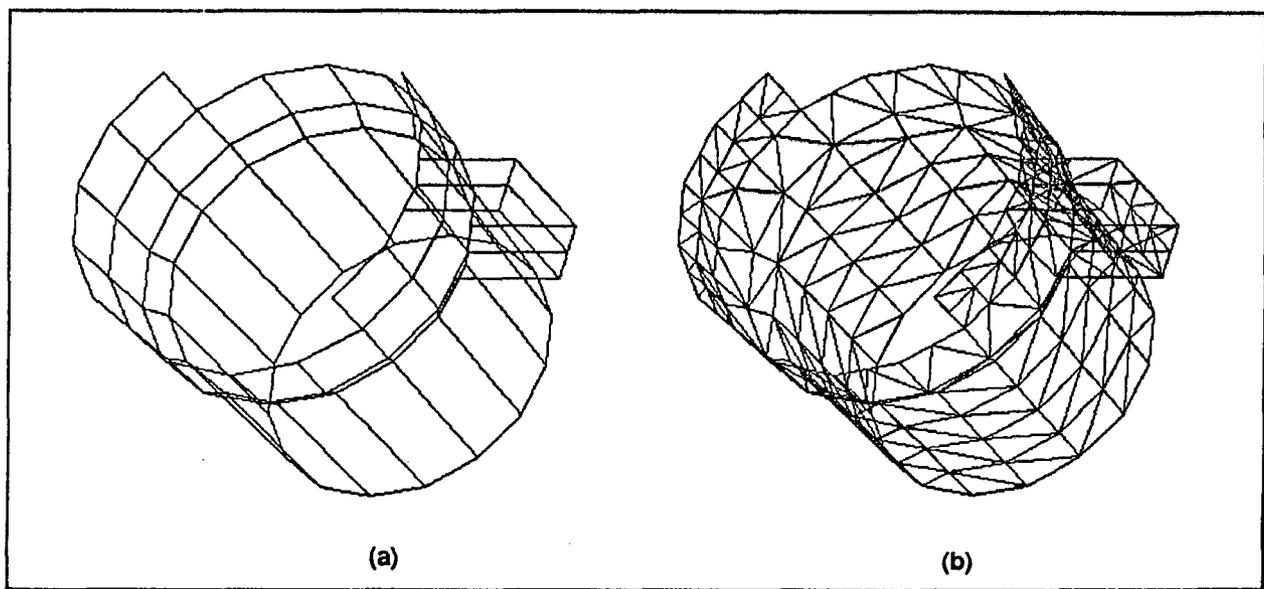


Figura A.18 - Exemplo de uma peça/cavidade modelada em um sistema CAE, (a) antes e (b) após ter sido gerada a malha de elementos finitos.

Análise Térmica

A **análise térmica** corresponde, basicamente, a programas que visam auxiliar o projetista na definição do dimensionamento do sistema de refrigeração do molde (posição e diâmetros dos canais), tendo por objetivo assegurar uma refrigeração adequada do plástico na cavidade, no sentido de se conseguir maior eficiência no processo de injeção [67]. Para o modelamento do circuito de refrigeração os sistemas se baseiam em uma representação em "wireframe", conforme mostra o exemplo da **Figura A.19**.

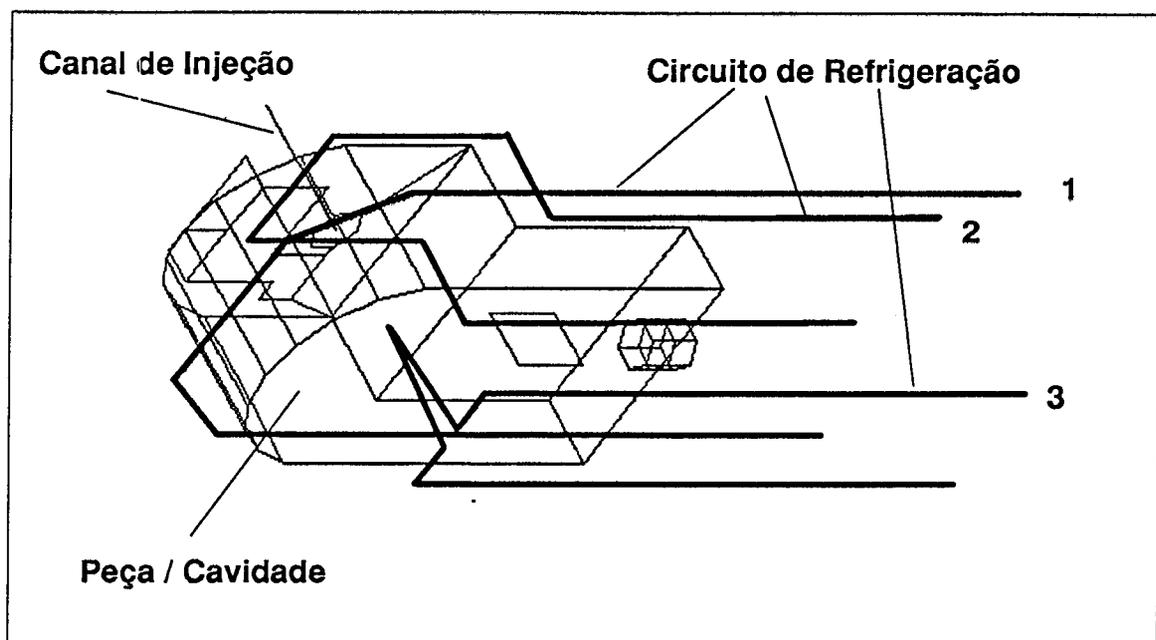


Figura A.19 - Exemplo de um modelamento de circuito de refrigeração, para a realização de análises térmicas em moldes de injeção, através de programas de sistemas CAE [71].

Análise Mecânica

A **análise mecânica** do molde, via sistemas CAE, consiste em programas que objetivam auxiliar o projetista na determinação das dimensões mais adequadas dos componentes do molde, de modo a assegurar que durante o processo de injeção, as deformações sofridas pela ferramenta fiquem dentro de valores aceitáveis, sem prejudicar a qualidade das peças injetadas, garantindo a sua adequada extração [72]. Basicamente, os programas investigam a resistência à flexão e à compressão, em

função da solicitação de cargas que o molde está sujeito, bem como, calculam a força de fechamento mais apropriada [67, 72].

A Tabela A.III apresenta os principais programas que vêm sendo comercializados a nível internacional, cabendo lembrar que os mesmos valem somente para materiais termoplásticos [67, 68]. Via de regra, os sistemas CAE são constituídos por programas modulares que podem ser adquiridos separadamente, de acordo com a necessidade e o interesse do usuário. Conforme pode ser verificado na Tabela A.III, a maioria dos programas visam auxiliar o projetista na resolução de análises reológicas, embora exista uma tendência de crescimento na oferta de programas para as outras duas análises [67]. Desenvolvimentos recentes, de alguns desenvolvedores de softwares para sistemas CAE, têm possibilitado incluir em seus pacotes, programas de análise reológica para materiais termofixos e borracha [73]. Adicionalmente, existem programas que auxiliam o projetista na análise de contração e empenamento da peça a ser injetada [47, 68, 70, 74].

A.2.2. Fase de Projeto

Conforme ilustrado na Figura A.14, o auxílio de programas computacionais, na fase de projeto de moldes de injeção, pode ser utilizado para especificar a forma e as dimensões da cavidade ou dos componentes do molde. No caso da cavidade, normalmente, são empregados modeladores de superfície,

principalmente, quando se tratam de peças de plástico com formas tridimensionais bastante complexas, cuja representação é melhor caracterizada através das "freeform surfaces" [12, 15]. Para o caso da especificação dos desenhos técnicos, referentes ao conjunto de placas e acessórios do molde, via de regra, são utilizados modeladores "wireframe".

Programa	Fornecedor	Análise Reológica	Análise Térmica	Análise Mecânica
Cadmould	Simcon	C2D C3D-Mefisto C3D-Mestro C3D-Mehold	C2D C3D-Mecool	C2D C3D-Meclamp
C-Mold	CCMP	C-Flow C-Pack	C-Cool	
Femould	Hahn&Kolb	C2D C3D-Mefisto C3D-Mestro C3D-Mehold	C2D	MEF C2D C3D-Meclamp
I-Deas Plastics	SDRC	Polyfill	Polycool	Supertab Model Solution Optimization
Moldflow	Moldflow	MF-2D MFL4-3D MFLP-3D	MF-Cool	Fenas Moldmech
PC-Mold	KIMW	PCFlow	PC-Therm	PC-Mech
TMConcept	Plastics & Computers	TMC-FA TMCFABest	TMC-MTA	
Simuflow	C-Tech	Simuflow-2D Simuflow-3D	Simucool	
Strim 100 (Plastic)	Cisigraph	Procop 2D-Rheolo 3D-Rheolo	Cooling Analysis	Plastic Struktur Analyse

Tabela A.III - Exemplos de programas CAE, para a área de moldes de injeção, disponíveis no mercado internacional [67, 68].

Especificação dos componentes do molde

Para o projeto do conjunto de placas e acessórios que se contituem no molde propriamente dito, o projetista poderá

acessar bibliotecas gráficas específicas, que armazenam informações sobre componentes/elementos padronizados, fabricados por diferentes fornecedores [75, 76, 77]. Adicionalmente aos elementos padrões disponíveis nos catálogos dos fabricantes, tais como DME, HASCO e outros, cujo modelamento é realizado passo-a-passo, mediante a escolha individualizada dos diversos acessórios contidos na biblioteca gráfica (catálogo), alguns sistemas ainda oferecem diferentes conjuntos formados por elementos já montados nas dimensões padronizadas, tendo ainda a possibilidade de alterar suas dimensões, dentro da gama de tamanhos oferecidos no catálogo. Por outro lado, dimensões especiais, não existentes nos catálogos, podem ser introduzidas e aceitas pelo sistema. Paralelamente ao processo de escolha dos elementos padronizados, é gerada, automaticamente, uma lista de materiais ("Bill of Materials") que, ao término do projeto, poderá ser impressa estando pronta para fazer o pedido ao fabricante/fornecedor dos elementos padronizados.

Os progressos obtidos nesta área, nos últimos anos, têm possibilitado reduzir consideravelmente o tempo de modelamento 2D, principalmente em empresas de moldes de países do primeiro mundo, onde a padronização já é bastante consagrada, existindo uma variedade muito grande de fornecedores de acessórios, para as indústrias de moldes de injeção, que oferecem seus catálogos através de softwares de CAD, conforme ilustrado na **Tabela A.IV**.

Adicionalmente, em alguns sistemas, os componentes do molde podem ser modelados através de recursos de

associatividade (ver Figuras A.37 e A.38, Parte 3), de modo que o software altera, de forma automática, todos os elementos correspondentes a um novo grupo de placas, quando uma delas ou um outro acessório qualquer, for substituído pelo usuário, corrigindo, paralelamente e de forma automática, a nova lista de materiais [78, 79].

Nome Comercial	País de Origem
HASCO	Alemanha
DME Americana	Estados Unidos
DME Inglesa	Inglaterra
DMS	Inglaterra
EOC	Alemanha
STRACK	Alemanha
STEINEL	Alemanha
ZH	Alemanha
RABOURDIN	França
POLIMOLD	Brasil

Tabela A.IV - Alguns fornecedores de acessórios padronizados para a construção de moldes de injeção que dispõem de bibliotecas gráficas em sistemas CAD [78, 79, 80, 81].

Conforme mostra a Tabela A.IV, no Brasil, já existe um fornecedor de acessórios padronizados que permite acessar as informações de seu catálogo, a partir de bibliotecas gráficas, via CAD [29, 80].

Especificação da cavidade (macho e fêmea)

Para o modelamento de cavidades, os sistemas CAD apresentam diversos recursos, através dos modeladores de superfícies, além daqueles já descritos na Parte 1 deste manual. No caso de modelamento de "freeform surfaces", o projetista pode criar superfícies complementares, como por exemplo, as obtidas a partir do arredondamento de cantos vivos, formados pela intersecção de outras superfícies, através de recursos conhecidos por "filleting" e "blending", conforme ilustrado nas Figuras A.20 e A.21, ou ainda, as obtidas a partir de recursos conhecidos por "offset", para gerar superfícies equidistantes às já existentes, com o objetivo de, por exemplo, modelar peças com espessuras de parede constantes.

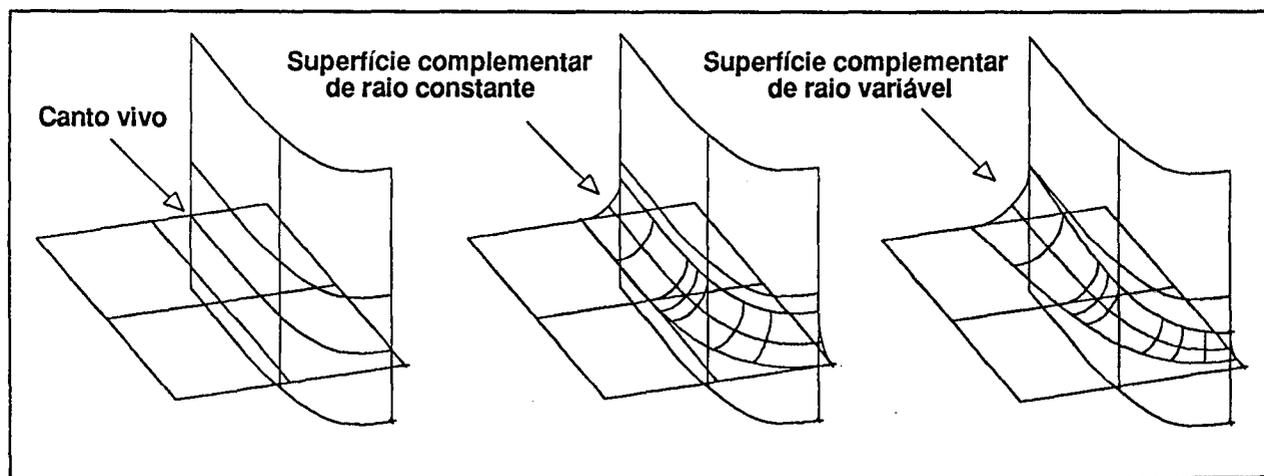


Figura A.20 - Exemplo de superfícies complementares geradas através de recursos de "filleting" [12].

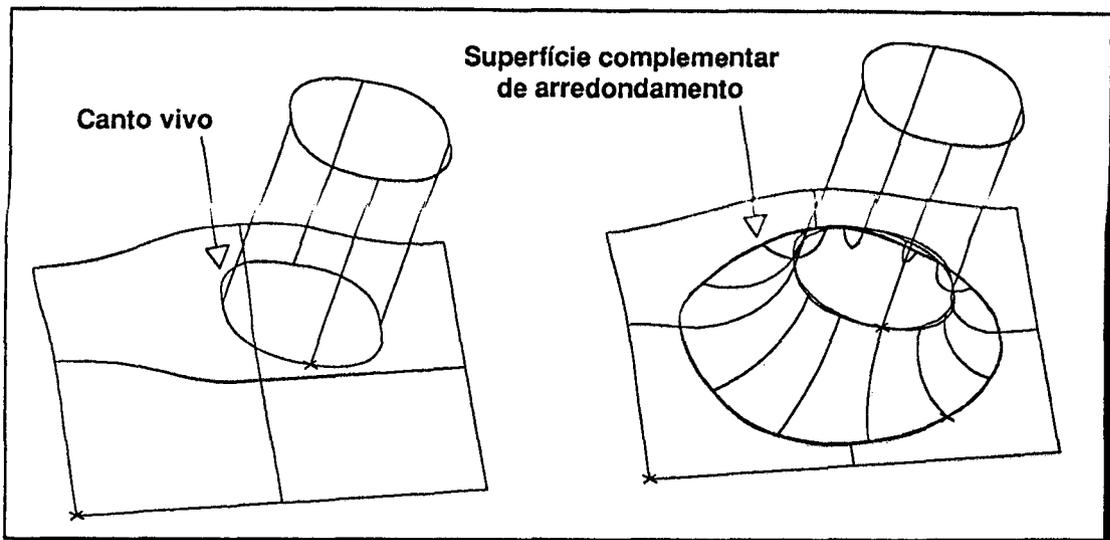


Figura A.21 - Exemplo de superfície complementar gerada através de recursos de "blending" [12].

Outro recurso bastante empregado e de grande utilidade para o modelamento de cavidades é o que permite eliminar ou desconsiderar regiões de superfícies que foram inicialmente modeladas, mas que, ao se interceptarem, umas com as outras, não fazem parte da geometria que descreve o modelo. O exemplo da **Figura A.22** mostra o resultado obtido a partir de recursos de "trimming", como é conhecida esta operação.

Adicionalmente, alguns sistemas apresentam recursos de modelamento, especificamente voltados para a área de moldes de injeção, como por exemplo, facilidades para a determinação da linha (curva), sobre superfícies do modelo, por onde deve passar a superfície de separação macho/fêmea [12, 82], também chamada no ambiente industrial de plano ou linha de abertura do molde [15]. A **Figura A.23** mostra um exemplo das etapas de modelamento realizadas para a obtenção da superfície de separação.

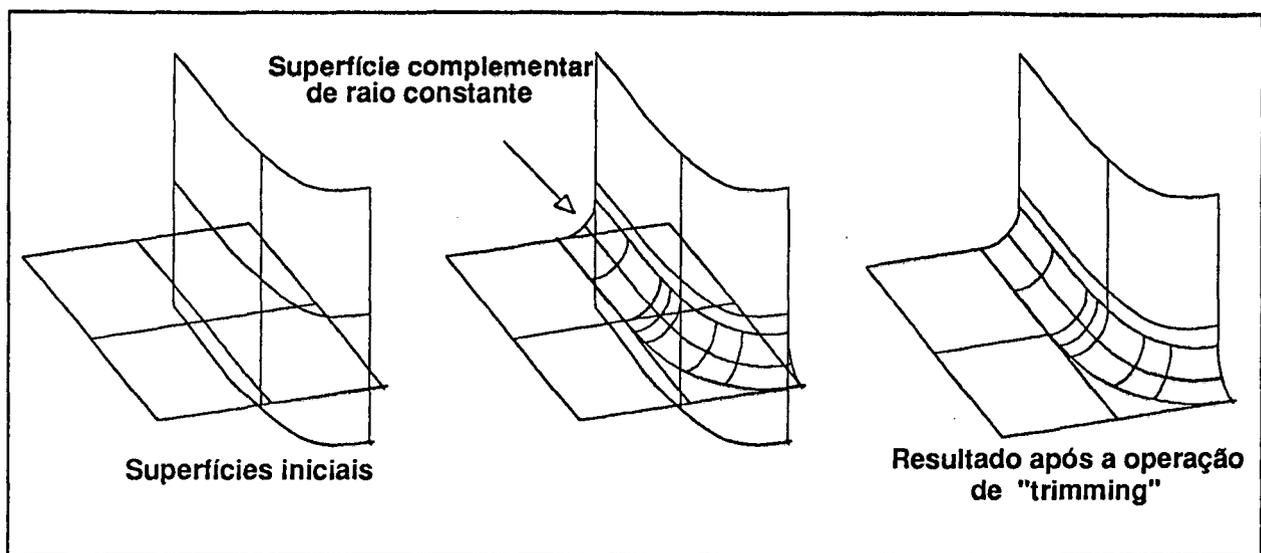


Figura A.22 - Exemplo do resultado de modelamento de superfícies onde foram empregados recursos de "trimming" [12].

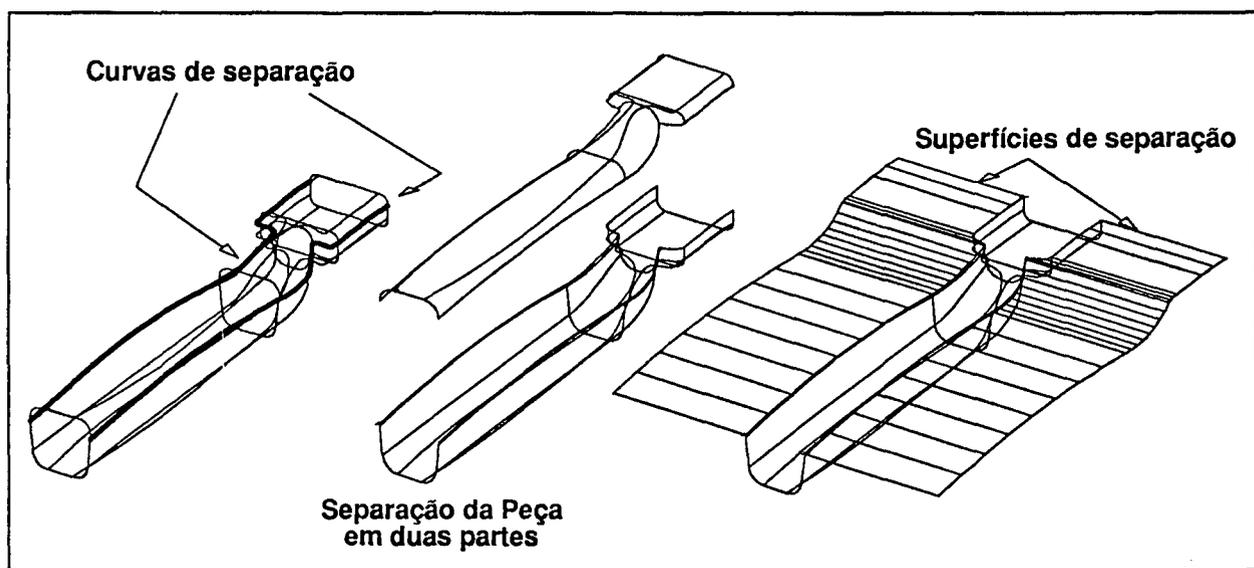


Figura A.23 - Exemplo de etapas de modelamento de superfícies, para a obtenção do plano de abertura do molde [12].

Contudo, devido a características intrínsecas à fabricação de moldes de injeção, principalmente, necessidade de considerar ângulos de saída, compensar percentuais de contração do plástico, fabricar a cavidade a partir da montagem de postigos e gavetas (para facilitar a usinagem em regiões que apresentam "undercuts"), a potencialidade de modelamento, em sistemas CAD, é um fator importantíssimo dentro do processo de produção de moldes auxiliados por sistemas CAx, o que será abordado, em maiores detalhes, na Parte 4 deste manual.

A.2.3. Fase de Fabricação

Para a fabricação das cavidades dos moldes, via sistemas CAM, predominam os processos de usinagem por fresamento CNC, utilizados para fresar diretamente a cavidade ou os eletrodos para o processo de eletroerosão por penetração [07, 12, 15].

A partir dos modelos criados, em operações de modelamento, é possível simular todo o processo de usinagem, após ter sido informado ao sistema, os parâmetros necessários para definir as condições de movimentação das ferramentas de corte, tais como: avanços, diâmetros de ferramenta, sentidos de movimentação, número de passes, profundidade de corte, etc [05, 12]. Esta etapa intermediária, entre o modelamento no CAD e a obtenção dos programas NC para alimentar as máquinas-ferramenta, é caracterizada, por muitos pesquisadores, como sendo uma etapa a parte, dentro de todo o processo via sistemas CAx, e

especificada como função de sistemas CAPP ("Computer Aided Process Planning").

Independente do processo se desenrolar ou não em módulos individuais, com características específicas, a filosofia empregada é a mesma, qual seja, a elaboração da seqüência de usinagem, a partir de considerações que envolvem, entre outras coisas: o posicionamento e as dimensões da peça bruta; a definição de estratégias de usinagem para o desbaste e o acabamento; a simulação do processo, na tela do computador, como forma de verificar possíveis colisões da ferramenta em áreas indesejadas, seja da peça ou de dispositivos de fixação. Neste sentido, alguns sistemas CAM possibilitam que o usuário acesse **bancos de dados de ferramentas**, a partir dos quais poderá selecionar aquela que for mais adequada para a operação de usinagem pretendida. Além das formas geométricas normalmente oferecidas pelos sistemas, o usuário poderá introduzir no banco de dados, formas de geometria que correspondam a ferramentas especiais por ele definidas. A **Figura A.24** exemplifica os tipos de geometrias de fresas normalmente encontradas nos bancos de ferramentas de sistemas CAM [12, 82] e alguns exemplos de formas especiais que podem ser definidas pelo usuário.

Adicionalmente, os processistas e/ou programadores NC podem dispor de **estratégias de usinagem**, ou seja, programas específicos que calculam, de forma automática, as trajetórias de ferramentas, tanto para operações de desbaste quanto de acabamento [12], conforme é ilustrado nas **Figuras A.25 e A.26**.

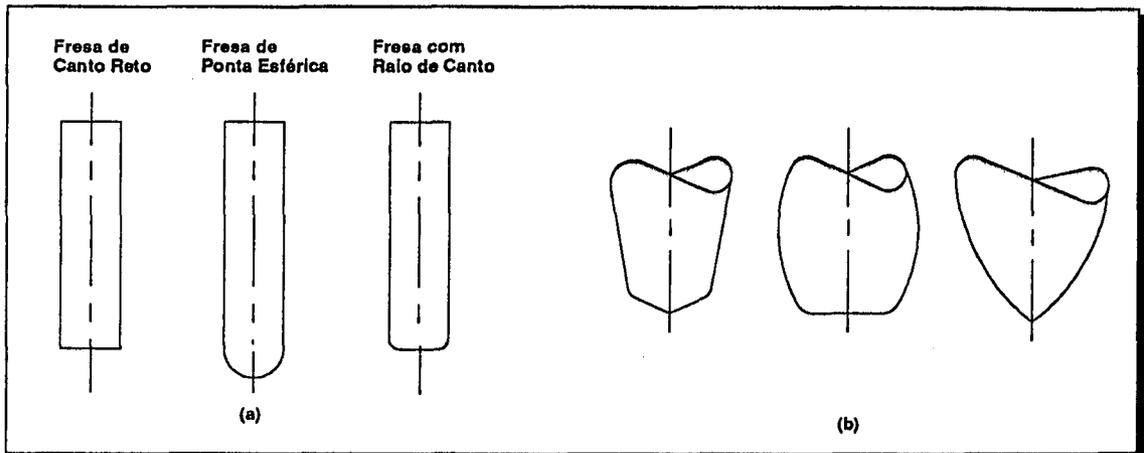


Figura A.24 - Exemplos de geometrias de fresas (a) normalmente disponíveis e (b) possíveis de serem definidas pelo usuário, em bancos de ferramentas de sistemas CAM [12, 82].

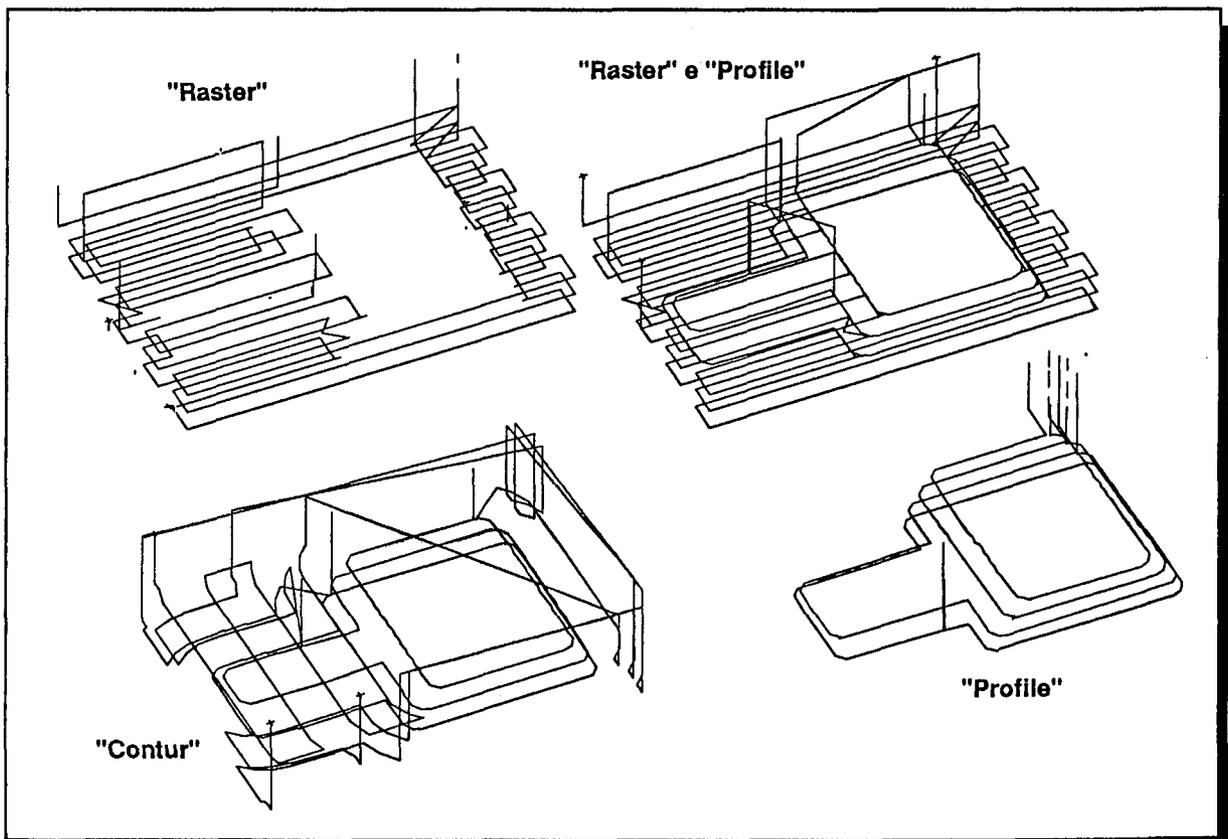


Figura A.25 - Exemplos de estratégias de usinagem para operações de desbaste [12, 82].

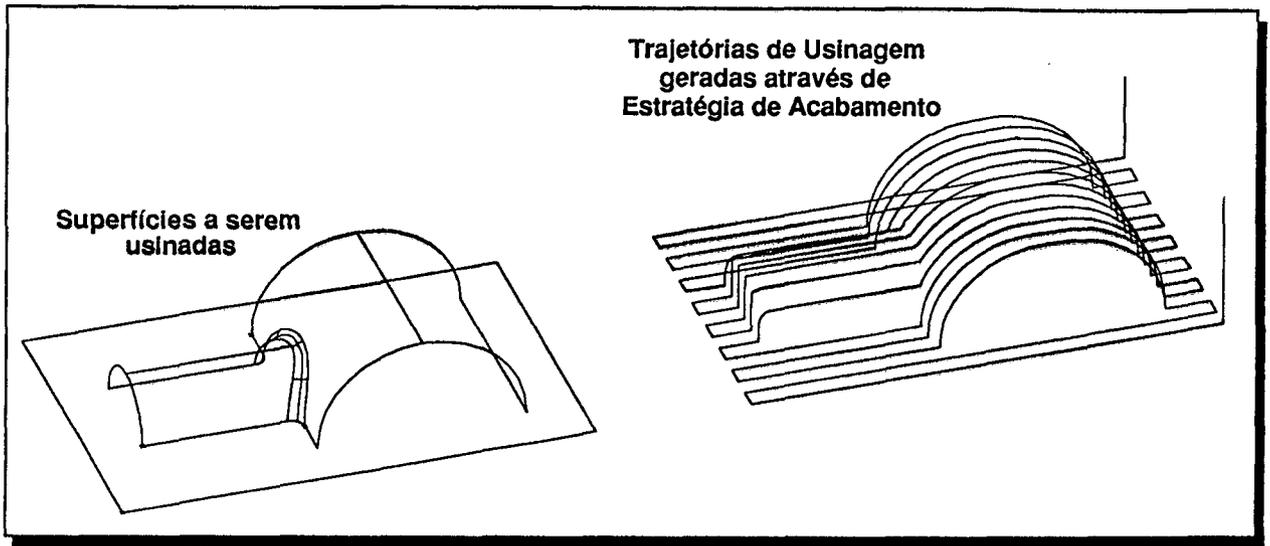


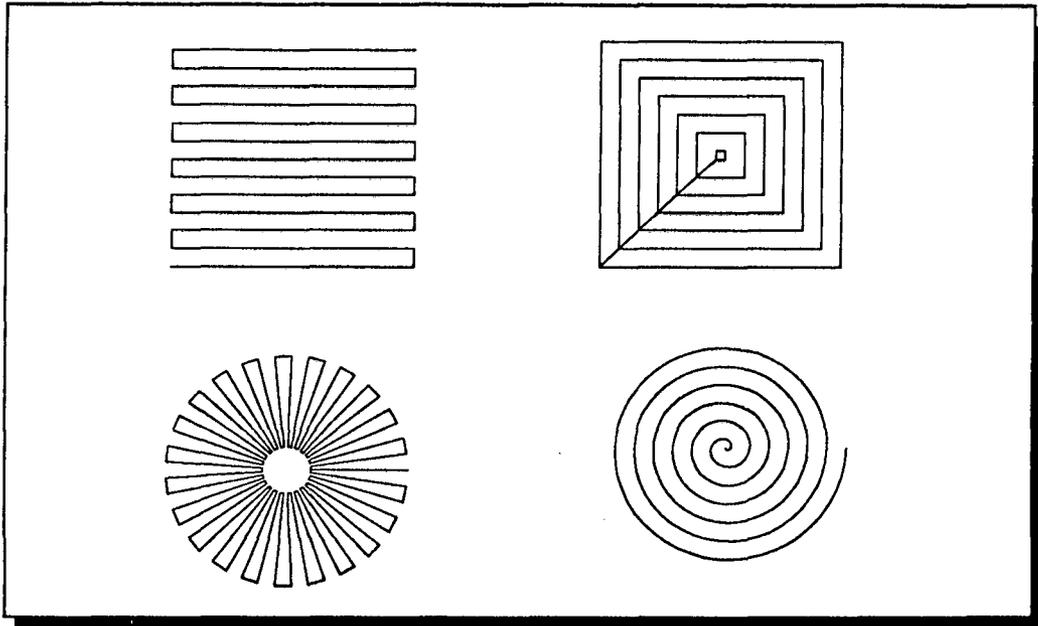
Figura A.26 - Exemplo de estratégia de usinagem para operação de acabamento [12].

Por outro lado, alguns sistemas CAM possibilitam que trajetórias geradas sobre um plano (2D) possam ser projetadas sobre as superfícies que definem a geometria da peça a ser usinada [12, 82, 83], conforme mostram os exemplos da **Figura A.27**.

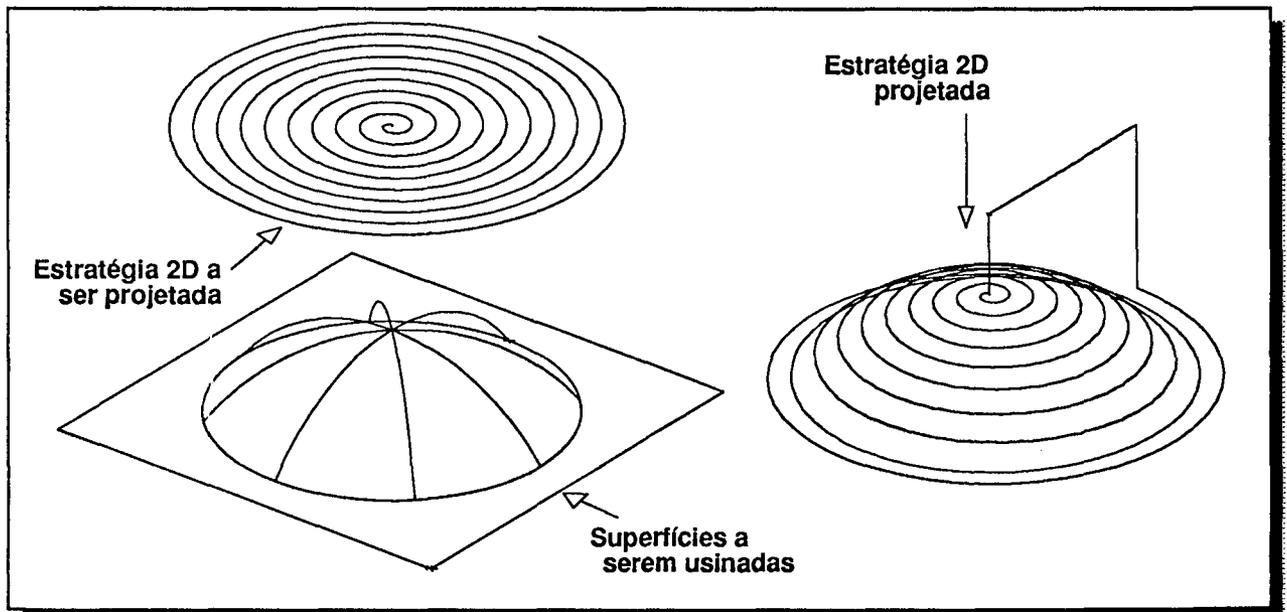
Conforme já mencionado na Parte 1, um recurso bastante útil oferecido nos sistemas CAM diz respeito a **simulação gráfica das trajetórias** descritas pelas ferramentas de usinagem, através da visualização dinâmica, representada na tela do computador.

Basicamente, os sistemas apresentam duas maneiras de representar a simulação de trajetórias de ferramentas, quais sejam: a obtida através de uma representação em "wireframe" e a obtida com recursos de modelamento de sólidos. Exemplos destas duas possibilidades são mostrados nas **Figuras A.28 e A.29**, onde se pode observar que a representação em "wireframe",

dependendo da complexidade dos movimentos da ferramenta, pode dificultar a interpretação das trajetórias de usinagem geradas.



(a)



(b)

Figura A.27 - Exemplos de (a) tipos de estratégias de usinagem geradas sobre um plano (2D) e (b) trajetória de usinagem obtida a partir de projeção de uma estratégia 2D [12].

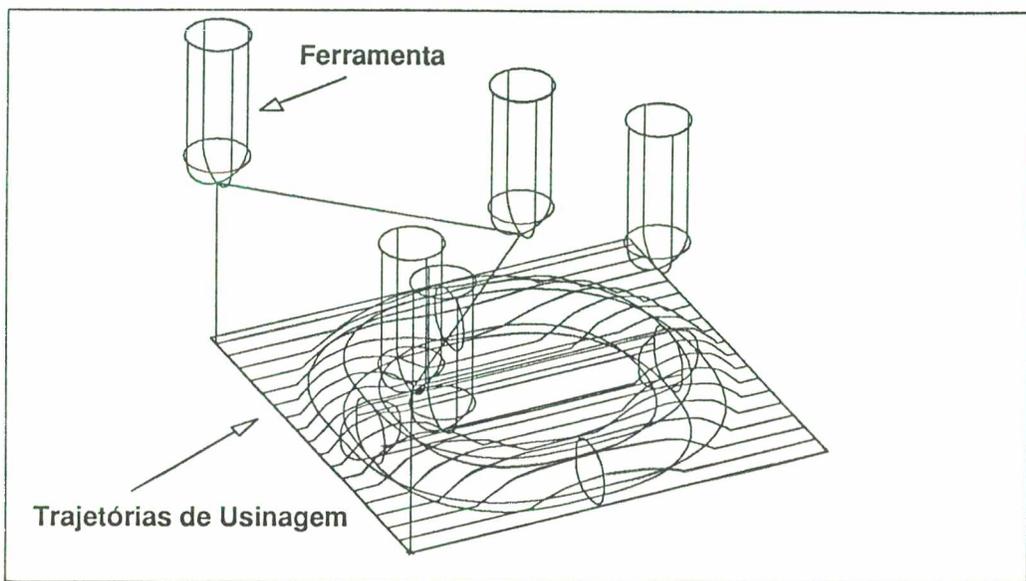


Figura A.28 - Exemplo do resultado de uma simulação realizada através de recursos de "wireframe" [12, 82].

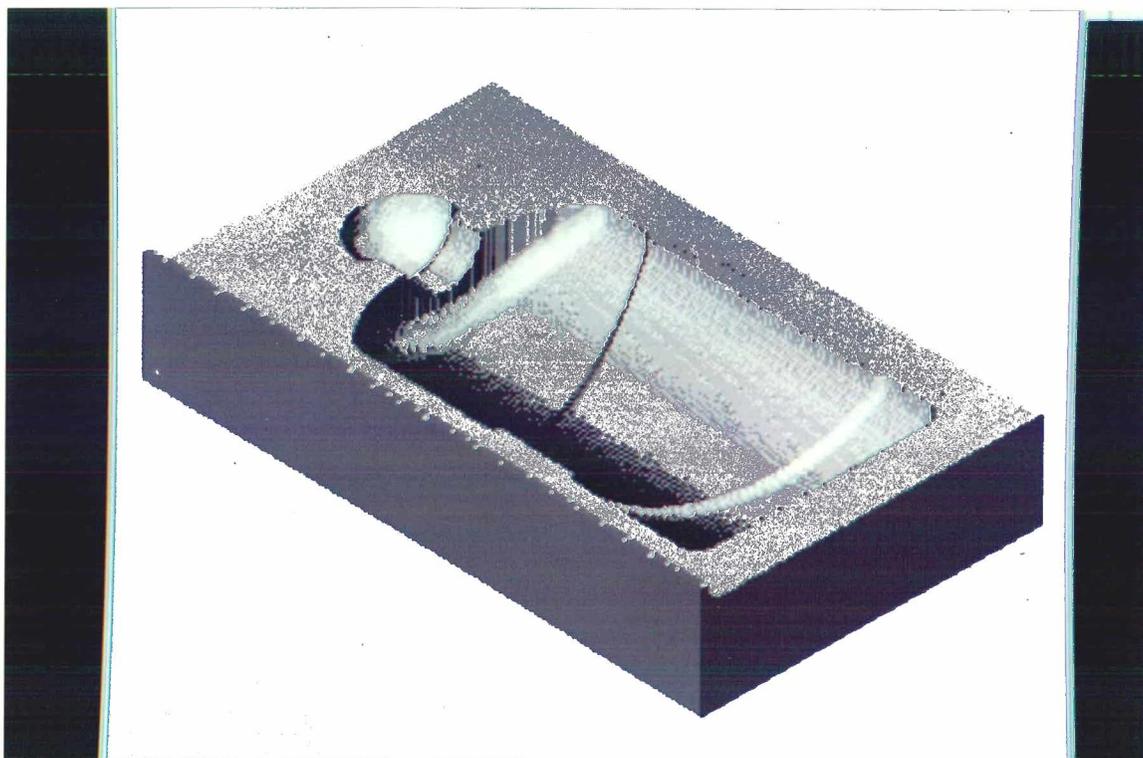


Figura A.29 - Exemplo do resultado de uma simulação de trajetórias de usinagem realizada através de recursos de modelamento de sólidos.

A.2.4. Integração entre as fases

Ao longo de todo o processo via sistemas CAx, para cada fase CAE, CAD ou CAM, torna-se necessário adaptar o modelo representativo da geometria do produto que está sendo desenvolvido. Em outras palavras, sempre será necessário realizar uma etapa de **modelamento geométrico** da peça ou produto, que servirá de base para o desenvolvimento das atividades, auxiliadas pelos módulos do sistema computacional, em cada fase específica. Para que a continuidade do processo de desenvolvimento, via sistemas CAx, seja garantida é preciso que as informações geradas em fases precedentes sejam eficientemente repassadas para as fases seguintes, via recursos computacionais.

Para tanto, existem programas especiais, denominados de *interfaces de comunicação*, que, segundo VIEFHAUS[84], se constituem em um conjunto de instruções, regras e procedimentos que define a forma com que dois sistemas ou componentes de sistemas, que se comunicam entre si, trocam ou transferem informações.

Em se tratando da transferência de informações referentes ao modelamento geométrico, anteriormente mencionado, as interfaces de comunicação podem ser diferenciadas em [84, 85, 86, 87]:

- Interfaces específicas, que permitem somente uma conversão direta das informações de um sistema para as de outro, ou seja, do formato de dados de um sistema A para o formato de dados de um sistema B.

- Interfaces neutras, que permitem a conversão das informações, de um sistema para outro, via um formato neutro padrão. Em função da característica de maior flexibilidade, o seu emprego vem sendo mais difundido, entre os fornecedores de sistemas CAx.

A idéia da transferência via interfaces neutras é relativamente simples, conforme ilustrado na **Figura A.30**, e de grande interesse para o setor de moldes para plástico, uma vez que, através da interface, é possível transferir informações de um projeto de uma peça de plástico desenvolvido, por exemplo, em um sistema CAD/CAM de uma indústria automobilística (sistema A) para um sistema CAD/CAM de uma empresa que deverá produzir os moldes (sistema B) e vice-versa.

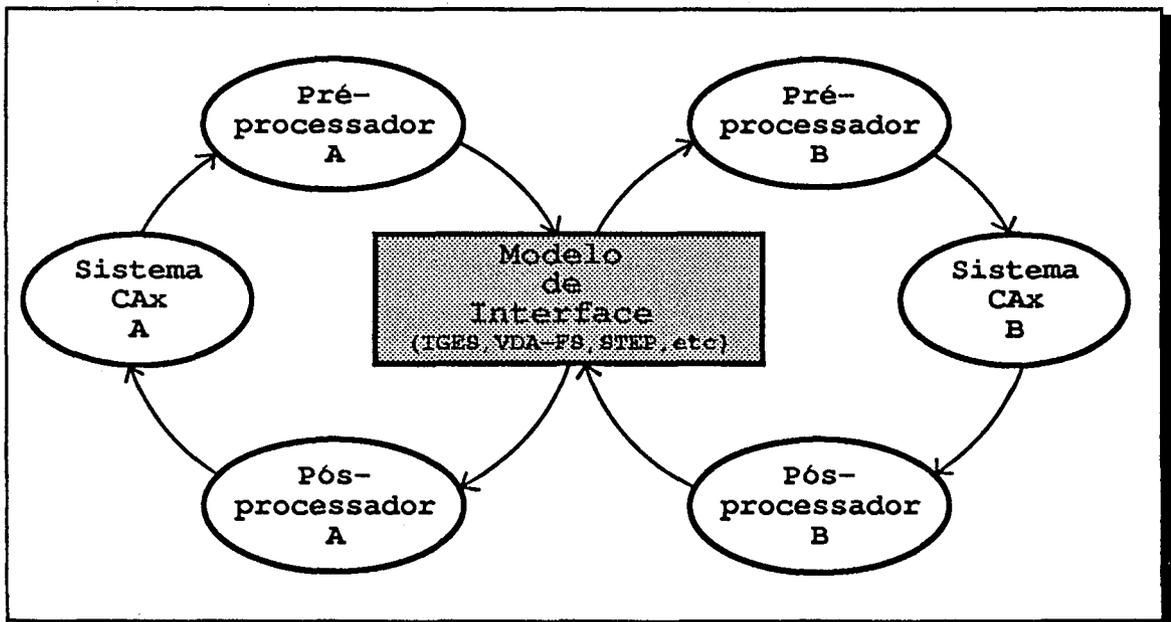


Figura A.30 - Conceito referente a troca de informações de modelamento, entre sistemas CAx, através de interfaces neutras padronizadas [61].

A troca de informações de modelos de produtos, entre sistemas apoiados por computador, via interfaces apropriadas, tem como objetivo principal aumentar a produtividade da empresa, através da obtenção das seguintes vantagens básicas [84]:

- Redução da probabilidade de ocorrer erros de modelamento, causados pelos usuários, em função da diminuição do número de modelamentos necessários, ao longo do desenvolvimento dos moldes, nas diversas fases do processo;
- Possibilidade de trocar informações atualizadas entre os diferentes sistemas CAx;
- Possibilidade de trocar informações sobre peças normalizadas e/ou de fornecedores especiais, como por exemplo, acessórios/elementos padrões para o projeto de moldes;
- Redução dos tempos de desenvolvimento, desde o projeto até a fabricação dos moldes.

As possibilidades de comunicação entre sistemas "receptores" e "fornecedores" depende, fundamentalmente, da potencialidade do modelo de especificação que descreve a interface. Atualmente, encontram-se disponíveis diversas especificações sobre interfaces neutras, muitas delas caracterizadas como normas de algum país. Os esforços nos últimos anos, têm sido no sentido de especificar uma norma internacional (STEP - Standard Tool for the Exchange of Product Model Data), aproveitando as vantagens da experiência acumulada a partir das normas existentes. A **Figura A.31** mostra uma visão

geral da evolução das principais especificações e interfaces para troca de informações de produtos, modelados em sistemas CAx [60, 61, 84, 88, 89].

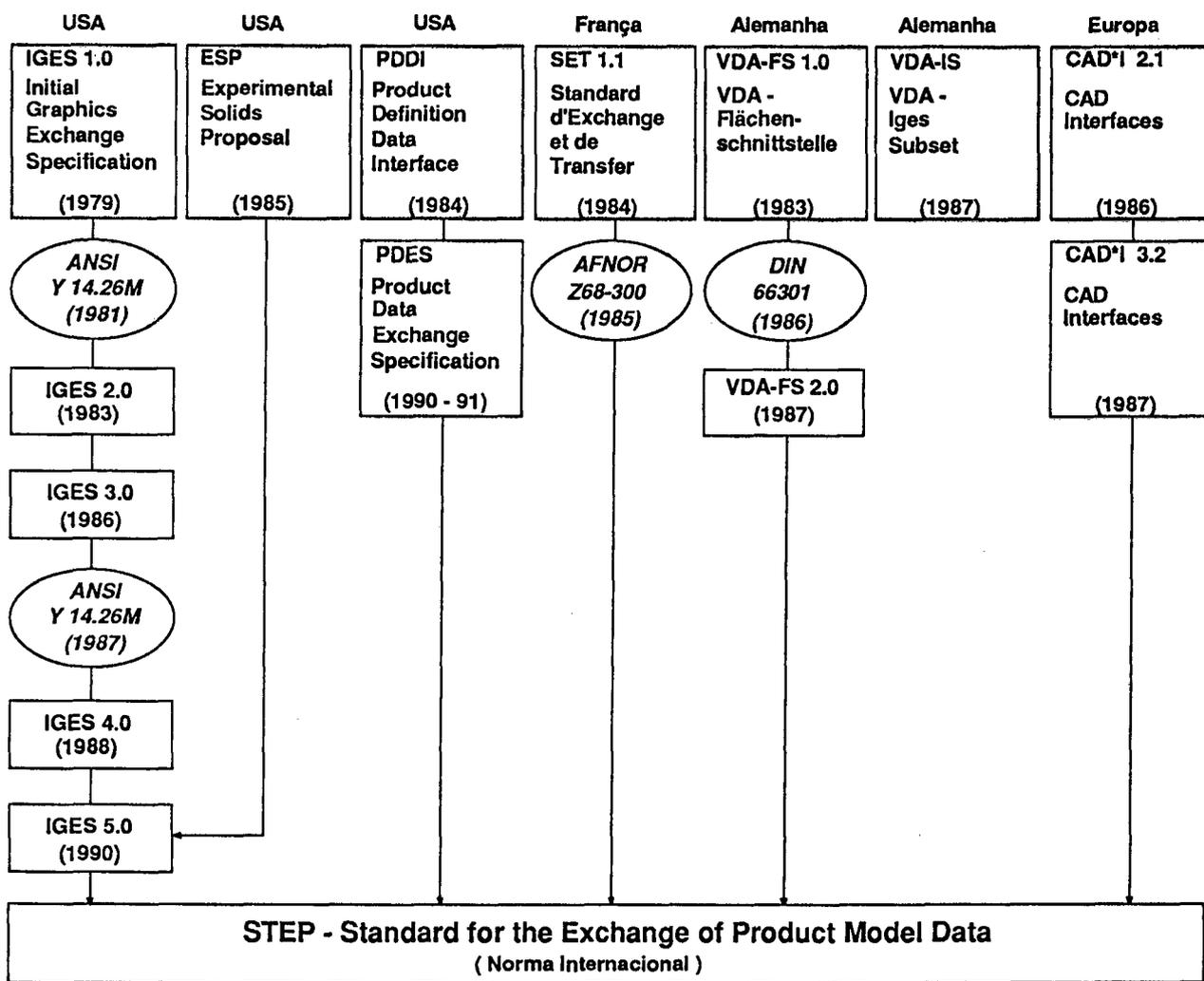


Figura A.31 - Visão global da evolução do desenvolvimento das principais interfaces e especificações de transferência de informações entre sistemas CAx [61, 84, 88].

Na área de moldes de injeção para produtos de plástico, as interfaces que vêm sendo mais difundidas são [07, 15, 90, 91]:

IGES (Initial Graphics Exchange Specification)

Desenvolvida nos Estados Unidos em 1979, encontra-se em sua quinta versão e corresponde à interface de maior utilização, a nível internacional [84, 88]. Enquanto que a versão 3.0 possibilita a transferência de modelamentos 2D, "wireframe" 3D e superfícies 3D, a versão 4.0 foi desenvolvida para, adicionalmente, permitir a transferência de modelamentos 3D de sólidos, do tipo CSG ("Constructive Solid Geometry") e a versão 5.0 para sólidos do tipo "B-Representation" [84]. Os arquivos IGES apresentam um formato ASCII de 80 colunas, tendo como base a descrição de "entities" (entidades) geométricas e não geométricas [61].

VDA-FS (Verband der Automobilindustrie-Flächenschnittstelle)

Em função da necessidade, da indústria automobilística alemã, de resolver o problema de troca de informações de modelamentos de superfícies, principalmente, devido as primeiras versões da interface IGES não possibilitarem a transferência destas entidades, a interface VDA-FS tornou-se a mais utilizada pelas indústrias automobilísticas e seus fornecedores de moldes, naquele país [61, 84]. A especificação

da interface se concentra, fundamentalmente, na definição de "freeform surfaces". Da mesma forma que a interface IGES, os arquivos possuem formato ASCII de 80 colunas, sendo que as seguintes entidades podem ser transferidas: ponto, conjunto de pontos, conjunto de pontos com respectivos vetores de direção, curvas, superfícies ou conjunto de superfícies [84].

DXF (Autodesk Data Exchange Format)

Apesar de não se tratar de uma interface normalizada, mas sim do modelo de dados do sistema Autocad, a especificação em formato DXF é bastante difundida entre os fornecedores de sistemas CAx, principalmente, em função do referido sistema CAD ser um dos mais empregados, para computadores tipo PC, a nível mundial [63].

Conforme pode ser observado, o principal objetivo do desenvolvimento de interfaces neutras, é garantir que a transferência entre os sistemas envolvidos, se realize sem que hajam perdas ou inconsistências das informações. Entretanto, inúmeros são os relatos de que ainda existem problemas e dificuldades nestes aspectos [50, 85, 91, 92, 129], o que será assunto a ser tratado na Parte 4, deste manual.

Parte 3

Considerações voltadas à implantação de sistemas CAx

Para que os benefícios advindos do emprego de sistemas CAx sejam alcançados é necessário que haja condições favoráveis, que englobem critérios sobre a filosofia organizacional de trabalho da empresa, planejamento criterioso do processo de mudança para a nova tecnologia, bem como considerações sobre as características requeridas para os profissionais envolvidos.

A.3.1. Aspectos de ordem organizacional

Um dos primeiros critérios, considerado como fundamental para obter benefícios ao se trabalhar com sistemas CAx, é o que diz respeito aos aspectos organizacionais. Uma forma organizada de trabalho deve ser conseguida bem antes de se iniciar o processo de implantação do sistema na empresa [90, 93]. Assim, por exemplo, é recomendável que os desenhos técnicos sejam organizadamente classificados, no departamento de projetos, a fim de que possam ser facilmente identificados e associados aos respectivos elementos/peças que compõem o molde produzido.

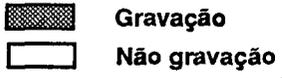
A utilização de um método de classificação/codificação para os desenhos técnicos, principalmente no caso de um grande volume de projetos, vem

sendo sugerida por alguns pesquisadores [15, 16]. Enquanto que no projeto convencional, a seleção de desenhos já concluídos é feita através da visualização imediata dos mesmos, no projeto via CAD, estes estão armazenados no computador, no disco rígido ou em disquetes, e somente poderão ser encontrados e selecionados com recursos do sistema CAD. Através de um sistema de classificação/codificação a busca de desenhos se torna mais fácil e rápida, inclusive, quando for feita por um funcionário diferente daquele que modelou ou está modelando as peças de um dado projeto que se está tentando localizar.

Uma sugestão para um sistema de classificação/codificação de desenhos para a área de moldes de injeção, a ser empregado no projeto via sistemas CAD, é mostrado na **Figura A.32**. A característica fundamental, ao se adotar a referida sugestão, consiste em assegurar que a identificação do desenho tenha correspondência com a identificação do projeto do molde a ser desenvolvido. Caso o código adotado não consiga identificar completamente a gama de moldes produzidos pela empresa, uma alternativa é a criação, para cada projeto novo, de um diretório com a devida identificação.

Outro aspecto importante relacionado com trabalhos em sistemas CAx diz respeito ao emprego de procedimentos bem definidos quanto à segurança dos arquivos criados no sistema. Uma sugestão neste sentido, ilustrada na **Figura A.33**, consiste em gravar as informações, alternadamente, no disco rígido e em dois disquetes [16]. Assim, caso for necessário, estará assegurada a possibilidade de acessar, na

Dia	Disco Rígido	Disquete A	Disquete B
Segunda	Gravação	Gravação	Não gravação
Terça	Gravação	Não gravação	Gravação
Quarta	Gravação	Gravação	Não gravação
Quinta	Gravação	Não gravação	Gravação
Sexta	Gravação	Gravação	Não gravação



 Gravação
 Não gravação

Figura A.33 - Exemplo de metodologia para garantir a segurança dos dados gerados via sistemas CAx [16].

Adicionalmente, a empresa deve adotar uma metodologia que assegure um trabalho de cooperação entre os departamentos da empresa, principalmente, entre os diretamente envolvidos com as atividades relacionadas com sistemas CAx, ou seja, os departamentos de projeto, planejamento, fabricação e controle de qualidade [50, 90]. Neste sentido, recomenda-se o emprego dos modernos conceitos de **Engenharia Concorrente** ou **Simultânea**, onde especialistas, dos diversos setores da empresa, trabalham de forma integrada, com o objetivo de juntar esforços no sentido de reduzir os tempos de desenvolvimento do molde, fugindo da tradicional filosofia departamentalizada. Assim, o trabalho com sistemas CAx favorece a implantação da Engenharia Simultânea pois os especialistas podem trocar informações entre si, atuando no melhoramento do projeto de forma simultânea via computador. Uma representação resumida da idéia básica contida no conceito de Engenharia Simultânea é mostrada na **Figura A.34**

enquanto que informações adicionais sobre o assunto podem ser encontradas em [94].

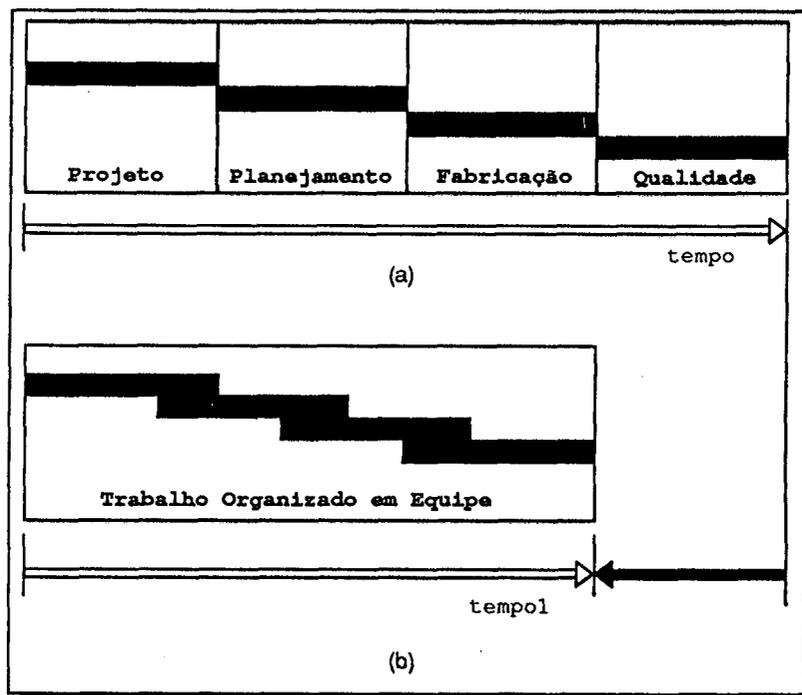


Figura A.34 - Representação básica da (a) filosofia departamentalizada e (b) filosofia de Engenharia Simultânea ou Concorrente.

A.3.2. Planejamento sistemático para implantar a tecnologia

A implantação de sistemas CAx deve ser feita mediante um planejamento criterioso [14, 15, 16, 63, 90]. A experiência tem demonstrado que o processo deve se dar gradativamente, iniciando-se pela aquisição de máquinas NC, passando para sistemas CAD e, somente após estes estarem totalmente integrados nas atividades normais da empresa, é que, novos investimentos, tais como, sistemas CAM ou CAD/CAM integrados e equipamentos DNC, devem ser realizados [14]. O

resultado de um estudo feito, em 1987, em 43 empresas fabricantes de moldes de injeção para a indústria de plástico, na Alemanha, sugeriu os seguintes passos para a implantação de máquinas NC e sistemas CAx [35]:

1º passo: Instalação de máquinas de comando numérico e micro-computadores para trabalhos de edição de textos, contabilidade e serviços de secretaria.

2º passo: Investimentos em um sistema de edição e programação de máquinas de comando numérico, preferencialmente, que tenha capacidade para programar diversos processos (por exemplo: torneamento, fresamento e eletroerosão à fio)

3º passo: Aquisição de uma interface DNC para realizar a distribuição dos programas NC.

4º passo: Introdução de um sistema CAD/CAM integrado, com módulo DNC acoplado.

5º passo: Ampliação do sistema através da aquisição de outros módulos, tais como, planejamento, preparação e controle da produção, bem como, para o controle integrado da qualidade.

Um exemplo de escala de planejamento para a implantação de tecnologias CAx é mostrado na **Figura A.35** [90]. Um maior ou menor período dedicado à realização de uma determinada etapa de implantação irá depender, basicamente, das

características específicas da empresa [63]. O importante é não desconsiderar a necessidade de realizar um planejamento cuidadoso, principalmente, quando existirem planos para expansão futura visando CIM [15].

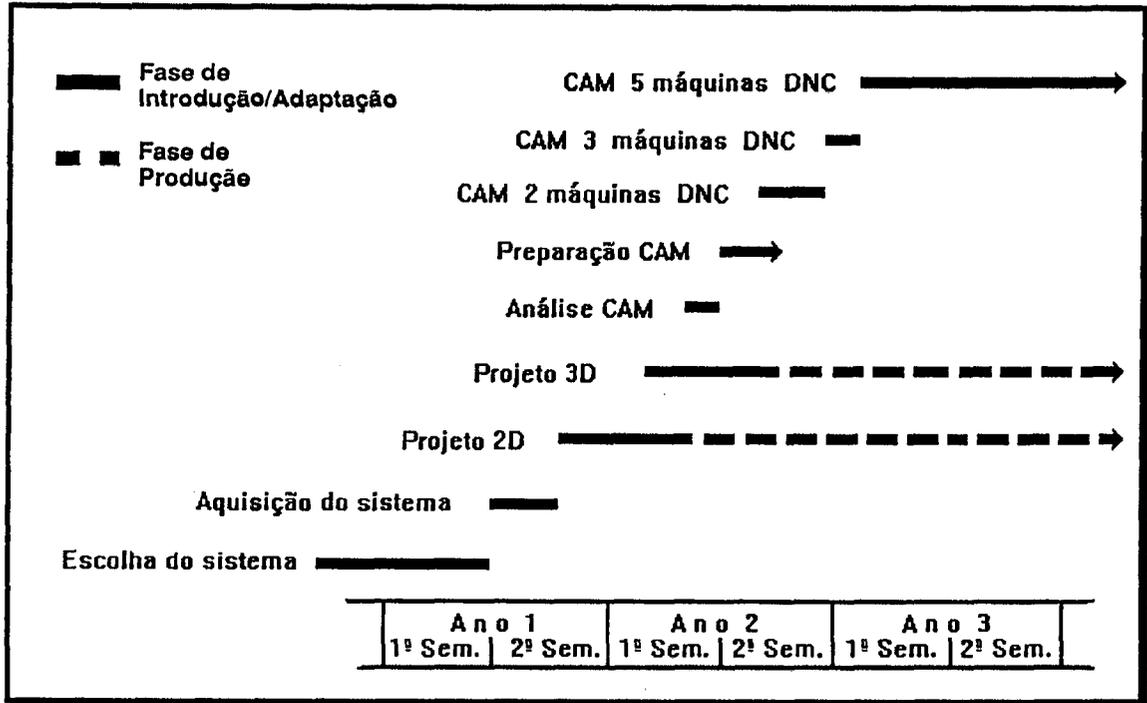


Figura A.35 - Exemplo de escala de planejamento, adotada para a implantação de tecnologias CAD/CAM, em uma empresa de moldes alemã [90].

Contudo, o sucesso de uma implantação de sistemas CAx irá depender, fundamentalmente, da capacidade da empresa selecionar o sistema que melhor se adapte às suas necessidades [90, 95]. O exemplo da Figura A.35 sugere que no processo de implantação, a fase de escolha/seleção do sistema deve ser iniciada bem antes da aquisição do mesmo. Um melhor entendimento sobre o processo de implantação pode ser obtido, a partir das considerações das etapas gerais feitas a seguir.

Etapas gerais do processo de implantação

Em termos gerais, o processo de implantação de sistemas CAx deve seguir os seguintes passos, conforme ilustrado na Figura A.36 [14, 16, 63]:

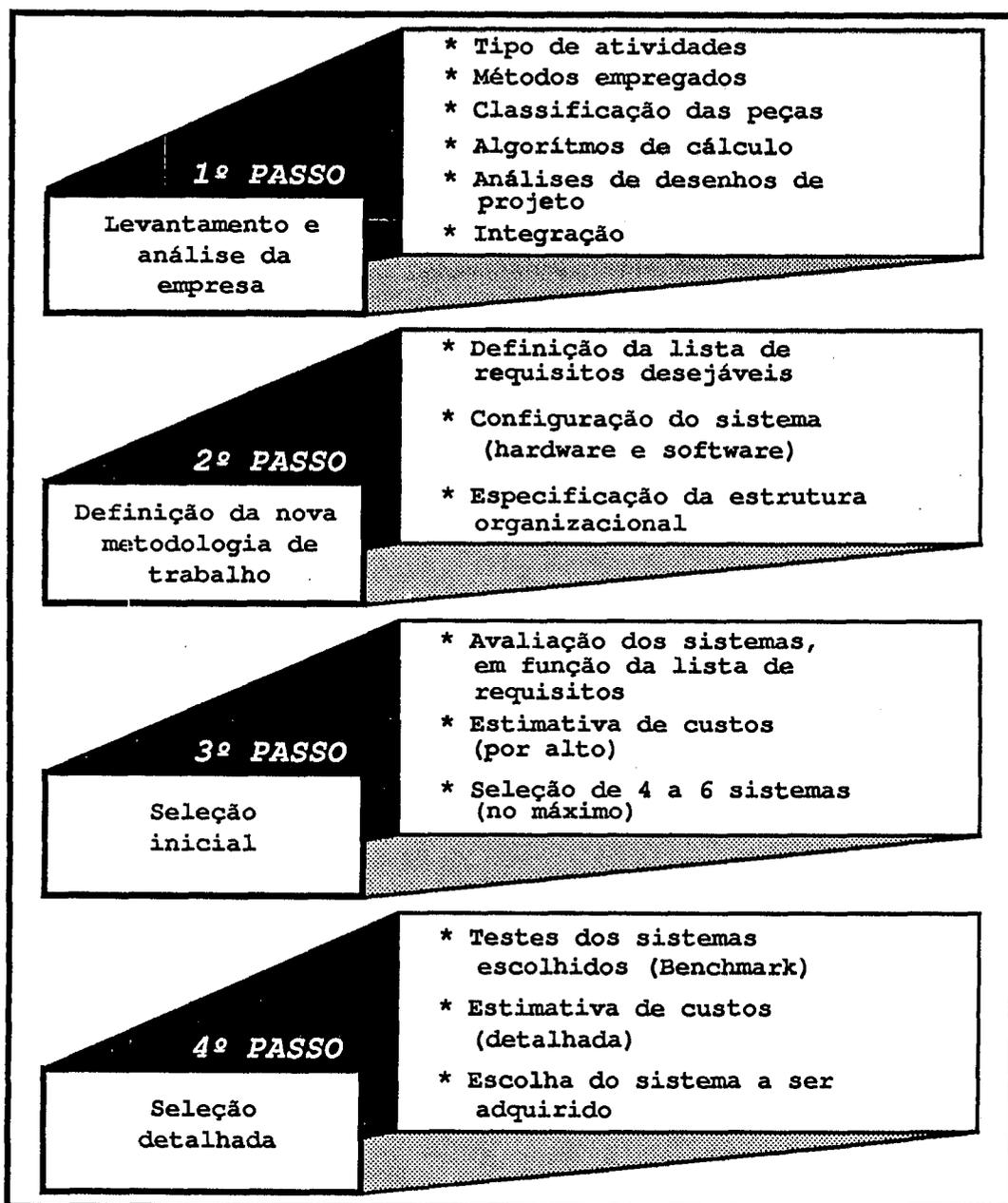


Figura A.36 - Procedimentos gerais recomendados para a escolha e posterior aquisição de sistemas CAx.

1º Passo: Levantamento e análise da situação da empresa

O objetivo principal das atividades a serem efetuadas nesta fase consiste em **identificar a forma organizacional de trabalho da empresa, suas necessidades atuais e futuras**, principalmente, dos departamentos de projeto e de fabricação, buscando, dentre outras coisas [14, 15]:

- Identificar as atividades, métodos utilizados e a estratégia da empresa;
- Definir as linhas de produtos de plástico que a empresa de moldes atende, buscando observar o grau de complexidade geométrica das cavidades dos moldes que normalmente são fabricados;
- Analisar detalhadamente os desenhos técnicos e algoritmos de cálculo utilizados, verificando para quais tipos de produtos são empregados elementos padronizados de desenho, quais são os fornecedores de acessórios normalizados de quem a empresa costuma comprar, bem como, o nível de detalhamento dos desenhos e a frequência com que os desenhos técnicos são realizados;
- Levantar o número e a configuração das máquinas NC e CNC, caso a empresa já empregue estas tecnologias, ou seja de que modo são gerados os dados para a fabricação dos moldes.

2º Passo: Especificação da metodologia de trabalho, a ser adotada, após a implantação do sistema

Com base nas informações levantadas sobre a forma organizacional de trabalho da empresa, o próximo passo é definir uma lista contendo os **requisitos que representem as necessidades e desejos** que devem ser atendidos, pelo sistema CAx, segundo interesses estratégicos da diretoria. Significa, especificar a configuração básica (hardware e software) do sistema a ser adquirido. Outra questão é a definição do número de postos de trabalho e a preparação do "lay-out" das salas onde o sistema será instalado [14]. Vale lembrar que o tempo de programação corresponde, frequentemente, a um número múltiplo do tempo de trabalho da máquina CNC, o que significa que para se otimizar a utilização das máquinas é necessário utilizar mais de um posto de trabalho [90].

Um aspecto bastante importante, nesta fase do processo de implantação, diz respeito ao treinamento dos futuros usuários do sistema. Devem ser esclarecidos quantos serão treinados e quais, para que estejam aptos a operar o sistema, no instante de sua introdução na empresa [15].

Aspectos referentes à duração dos cursos e aos custos de treinamento dos futuros usuários devem ser encarados com seriedade, pela diretoria, uma vez que são estes os que mais influência exercem no grau de aceitação, utilização e custos do processo de introdução de sistemas CAx [14, 63].

Não menos importante, é planejar, em função do número de postos de trabalho a serem adquiridos, a distribuição de horários e de pessoal, de acordo com as tarefas a serem realizadas (elaboração de desenhos 2D, modelamento 3D, análises de simulação do processo de injeção, programação NC, etc) [15].

3º Passo: Seleção inicial do sistema CAx

Nesta etapa do processo deve ser feito um levantamento de mercado procurando verificar quais os sistemas que atendem aos requisitos especificados na lista elaborada no 2º Passo. Como se trata de uma seleção mais ampla, os critérios a serem avaliados devem considerar aspectos genéricos. Por exemplo, no caso da seleção de um sistema CAD 2D, para o projeto de moldes, alguns critérios poderiam ser:

- Possibilidade de projetar por tecnologia de "parametrização" (ver descrição mais adiante e exemplo apresentado na Figura A.38);
- Possibilidade de acoplar um sistema ou módulo de programação NC, para futuras atividades de CAM;
- Disponibilidade de módulos para o projeto de moldes, a partir de bibliotecas gráficas de elementos/acessórios padronizados (p. ex: HASCO, DME, POLIMOLD, etc);
- Disponibilidade de importar geometrias via diferentes interfaces neutras (ver item A.2.4, Parte 2);

Além dos critérios técnicos, a seleção inicial já deverá levar em consideração aspectos referentes às credenciais do fornecedor do sistema, tais como, posição ocupada no mercado, tipos de manutenção e assistência técnica oferecidas, faixa de custos de seus produtos, condições de treinamento, etc. A experiência tem mostrado que, via de regra, desenvolvedores/fornecedores de sistemas CAx de renome, investem continuamente no desenvolvimento e em melhorias de seus softwares, significando para as empresas compradoras de seus sistemas, uma garantia de evolução tecnológica [15].

4º Passo: Seleção detalhada

Corresponde a realização de testes de Benchmark³, com 4 a 6 sistemas, no máximo [14, 16], com a finalidade de identificar as diferenças existentes, baseadas em uma comparação pormenorizada, que possa mais facilmente definir qual o sistema que melhor se adapte aos interesses da empresa. Convém salientar que o hardware (equipamento) é elemento importante no instante da escolha, uma vez que recursos oferecidos, a nível de "workstation" (estações de trabalho) podem não ser quando a configuração do sistema é baseada em micro-computador. Além disso, dependendo da configuração do hardware, os tempos de resposta do sistema, na realização de cálculos e busca de informações, podem ser

³ Benchmark se refere ao conjunto de procedimentos que devem ser feitos visando testar os recursos e as facilidades oferecidas por sistemas CAx, tendo como base para a avaliação, um modelo representativo das peças produzidas pela empresa [96].

diferentes. Portanto, na escolha do sistema é preciso considerar este aspecto, para que a avaliação comparativa se dê com equipamentos potencialmente equivalentes, ou então, que as diferenças provenientes, em função de configurações diferenciadas, sejam consideradas. Adicionalmente, deve ser avaliada sob quais plataformas de hardware o sistema oferece uma melhor performance.

Além de testar a potencialidade dos sistemas previamente escolhidos, em relação aos recursos e facilidades de modelamento, faz parte da avaliação, verificar aspectos relacionados com a interface de comunicação do sistema com o usuário, uma vez que, via de regra, é desejável que a mesma seja a mais amigável possível. Assim, convém avaliar detalhadamente, as possibilidades oferecidas para operar o sistema, quanto à forma do usuário introduzir informações no sistema, (via teclado, "mouse", "tablet", etc) e ao tipo de "lay-out" de apresentação dos comandos na tela.

Segundo GLIESE[14], considerando unicamente o caso de implantação de um sistema CAD, o transcorrer de todos os passos, desde o instante da idéia inicial até a realização de procedimentos de trabalho produtivos, pode chegar a levar de 2 a 3 anos ou mais. Assim, cada etapa do processo deve ser feita com seriedade e de forma objetiva, para que, após este período, a motivação para futuras implantações e ampliações do sistema seja maior, em função dos bons resultados alcançados.

Para melhor esclarecer algumas questões importantes referidas na descrição dos passos gerais, algumas recomendações serão descritas a seguir.

Formação de uma equipe e definição da pessoa responsável

O ponto de partida para a realização dos passos descritos anteriormente é a formação de uma equipe de trabalho. Segundo FRANZ[63], esta deverá ser formada por uma ou duas pessoas do quadro principal da empresa, juntamente com a participação de um especialista/consultor na área de implantação de sistemas CAx, não pertencente ao quadro de funcionários. Das pessoas pertencentes à empresa é importante definir aquela que irá assumir a coordenação do projeto de implantação, sendo considerada como "Responsável pelo Sistema". Preferencialmente, o coordenador deverá ser uma pessoa com capacidade de decisão e ter conhecimentos técnicos suficientes que lhe permita, futuramente, esclarecer dúvidas e resolver problemas, junto ao fornecedor do sistema, relacionados a, por exemplo, aspectos de instalação do sistema; alterações na sua configuração para possível expansão; adaptações de hardware e software [14].

O "responsável" deve ter seu tempo exclusivamente disponível e dedicado para resolver questões relacionadas ao sistema CAx e não ser um funcionário que já exerce outras múltiplas funções e muito menos, um dos futuros usuários do sistema [15].

Caberá à equipe se responsabilizar pela divulgação, para os demais funcionários da empresa (projetistas, processistas, mestres, etc), das tarefas ligadas à nova tecnologia e de que modo pretende-se que a implantação do sistema seja feita [14], no sentido de sensibilizar os funcionários e prepará-los para a mudança.

Treinamento de pessoal

Este é um aspecto fundamental do processo de implantação, especialmente para o setor de moldes de injeção, conforme se pode verificar, a partir das considerações descritas na Parte 4, deste manual. Independente da área de aplicação, o sucesso na implantação de sistemas CAx, irá depender, fundamentalmente, da motivação e do interesse dos usuários em relação a nova tecnologia. Incertezas provenientes de um treinamento inadequado no sistema escolhido e, em consequência deste, o surgimento de desinteresses pela incapacidade em atingir as expectativas que se tinham antes da implantação, não se comparam, em termos de prejuízos, com os custos que devem ser desembolsados para a realização de um treinamento completo e adequado [15, 125]. Somente quando são dados tempos suficientes para que a empresa se adapte à nova tecnologia, através da dedicação às atividades nos sistemas, é que as potencialidades destes poderão ser exploradas com profundidade e sem traumas, trazendo o retorno do investimento feito [15, 90]. Assim, a experiência tem demonstrado que não deve ser exigido que um

usuário realize, sem a devida adaptação ao sistema, trabalhos com prazos fixos para atender necessidades da produção [125].

Para dúvidas e afirmações do tipo "Quem treinar? Pessoal técnico somente? A gerência também tem que se modernizar!" ou "Qual a formação que devem ter os futuros usuários? CAx é muito complicado.", ou ainda, "Quantos treinar? Não se dispõe de recursos para permitir que os funcionários fiquem sem produzir durante alguns dias!" não existem respostas em forma de receita de bolo. Entretanto, algumas recomendações podem ser feitas, a partir da experiência dos que já estão empregando a tecnologia, tais como [15, 16, 52, 90]:

- Em princípio, a escolha de quem treinar deverá recair nos funcionários que se sentirem "motivados" pela nova tecnologia;
- Se já houver alguém na empresa com conhecimentos sobre sistemas CAx, este deverá ser um candidato natural para usuário do sistema, uma vez que, em princípio, o processo de aprendizado deverá ser mais fácil e o êxito na introdução da tecnologia poderá ocorrer mais rapidamente;
- Como o emprego de sistemas CAx requer uma metodologia de trabalho de estreita cooperação, principalmente, entre os departamentos de projeto, planejamento, fabricação e controle de qualidade, dentro do possível, o pessoal a ser treinado deverá ter um conhecimento o mais profundo possível sobre o processo global de fabricação de moldes;
- O número de funcionários a receber o treinamento, deverá ser, no mínimo, dois. Assim, a troca de informações e

conhecimentos, entre os usuários, é estimulada e, adicionalmente, a empresa não corre o risco de ter o processo, via sistema CAx, dependendo exclusivamente de um único funcionário, que, caso se desligue da empresa, leve consigo todo o conhecimento adquirido, causando prejuízos consideráveis para a empresa;

- Faz parte do processo de treinamento, incentivar a participação dos futuros usuários em seminários, congressos e eventos científicos sobre o emprego de tecnologias CAx, bem como em cursos especiais, que visam esclarecer aspectos relacionados à filosofia de trabalho que deve ser adotada quando empregar sistemas CAx (por exemplo: organização de arquivos, sistemática de projeto via CAD, noções sobre planejamento para a implantação de sistemas CAx, etc).

Seleção e avaliação através de "Testes de Benchmark"

A tomada de decisão por um determinado sistema é uma tarefa complexa e difícil, principalmente, devido a um universo de sistemas bastante extenso que existe no mercado, caracterizado por constantes modificações, em função do surgimento de novos desenvolvedores/fornecedores e novas versões de softwares. Assim, é recomendável que, na realização dos testes de Benchmark, seja adotada uma sistemática com critérios e objetivos previamente definidos [96], em função da área de aplicação do sistema a ser adquirido. Em outras palavras, a realização dos testes deve ser bem planejada e documentada, para

que as seguintes características desejadas, possam ser alcançadas [96, 97]:

- Transparência, ou seja, a especificação dos objetivos e a seqüência dos passos deve ser clara, sem causar dúvidas;
- Comparação, ou seja, as condições e os critérios de análise do teste devem ser especificados de tal modo que permitam gerar resultados capazes de serem comparados;
- Reprodutibilidade. Esta característica é importante para o caso em que houver dúvidas, entre dois sistemas, em algum critério avaliado, e for necessário repetir o teste sob o enfoque específico. Na repetição do teste os resultados deverão ser os mesmos;
- Relevância, para que os resultados dos testes levem a valores significativos do ponto de vista prático;
- Neutralidade, ou seja, os testes devem ocorrer sem favorecimento ou prejuízo a um dado sistema.

Assim, é recomendável adotar, por exemplo, o Método de Análise de Valores, segundo cada critério a ser avaliado, para um dado sistema, recebe um valor e um grau de responsabilidade (peso), que somados indicarão a pontuação recebida pelo sistema, facilitando a comparação e a seleção do mais apropriado segundo os interesses da empresa [67, 96].

A importância que deve ser dada à realização de testes de "Benchmark" devidamente planejados pode ser melhor entendida, a partir das considerações descritas na Parte 4, deste manual, que apresenta as dificuldades, com relação ao

emprego das tecnologias CAx em empresas do setor de moldes de injeção, que muitas vezes só são detectadas após o sistema já ter sido adquirido pela empresa.

Contudo, algumas considerações, especificamente voltadas com relação à seleção de sistemas CAx para as fases de concepção, projeto e fabricação de moldes de injeção, serão feitas a seguir.

I. Sistemas CAE

O critério que deve ser considerado como o principal do processo de seleção de um programa CAE é a **precisão dos resultados** fornecidos após a simulação [98]. Em se tratando de programas para a análise reológica, diferentes métodos numéricos⁴ (por exemplo, Elementos-Finitos, Diferenças-Finitas ou Elementos de Contorno) para o cálculo das grandezas envolvidas no processo de injeção, são empregados pelos diversos fornecedores de sistemas CAE existentes no mercado (ver Tabela III, na Parte 2). Em função da diversidade dos métodos numéricos, empregados nos diferentes programas, os resultados obtidos a partir de condições de simulação idênticas podem ser bastante distintos [67, 68, 98]. Desta forma, a única maneira de avaliar qual o sistema que apresenta os resultados mais confiáveis, é a realização de testes comparativos entre os resultados fornecidos e aqueles obtidos sob condições práticas, junto à máquina injetora [67, 98].

⁴Maiores esclarecimentos sobre as características de cada método podem ser obtidos em [68].

Entretanto, devido à dificuldade de realizar os testes comparativos citados (seja devido à carência de entidades credenciadas para tal ou a falta de recursos e de tempo, para que as próprias empresas, interessadas no sistema CAE, realizem os testes), é recomendável que o sistema a ser escolhido já tenha uma boa aceitação no mercado. Neste sentido, um levantamento de informações e opiniões, a partir de contatos com empresas que já utilizam o sistema pode vir a facilitar a decisão daquele que será adquirido.

II. Sistemas CAD

Para o projeto dos componentes do molde

Os desenhos técnicos 2D de moldes de injeção, via de regra, são caracterizados por apresentarem um número bastante grande de informações [46]. Assim, é importante que sejam avaliados os recursos, oferecidos pelo sistema, para acelerar o desenho de partes semelhantes que se repetem, como é o caso das placas, buchas, pinos de retorno, anéis de vedação, enfim, os componentes do molde, dentre outros. Neste sentido, os testes de Benchmark devem avaliar as possibilidades do sistema com relação ao emprego da técnica conhecida por "parametrização", onde o modelamento de formas geométricas semelhantes pode ser rapidamente realizado a partir, tão somente, da especificação de alguns parâmetros associados, conforme ilustrado no exemplo da **Figura A.37**.

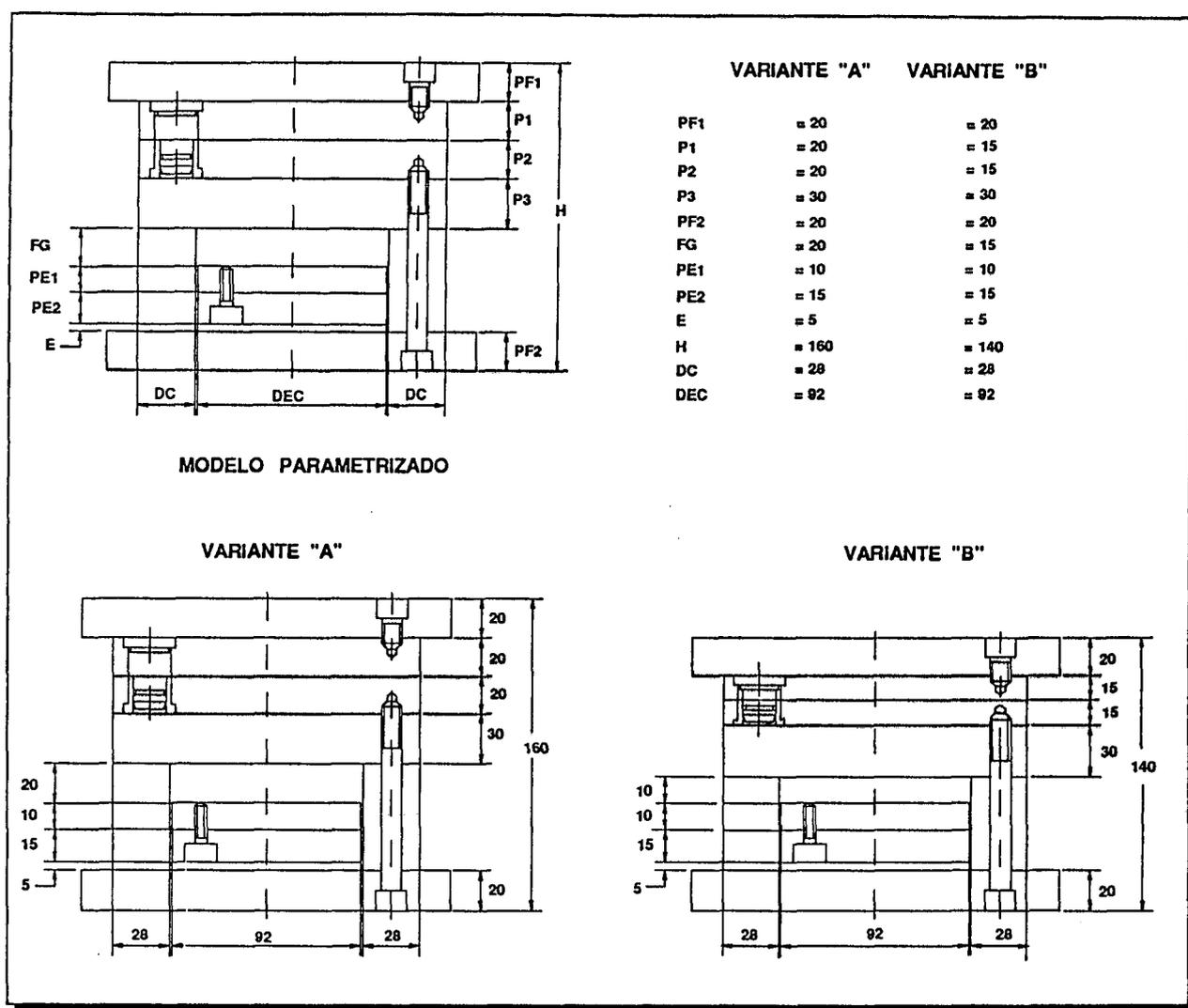


Figura A.37 - Exemplo para caracterizar o modelamento utilizando recursos de parametrização.

Outro recurso recomendável, para ser avaliado em sistemas 2D, para atividades de projeto de componentes do molde, é a técnica da "associatividade" ou "geometria relacional", através da qual é possível associar/relacionar um elemento geométrico a seu correspondente valor de cota ou mesmo a um elemento geométrico adjacente. O resultado é que alterando a posição de um dado elemento geométrico, a dimensão especificada previamente no desenho é correspondentemente modificada, de

forma automática, sem a intervenção do usuário. A Figura A.38 ilustra a técnica citada.

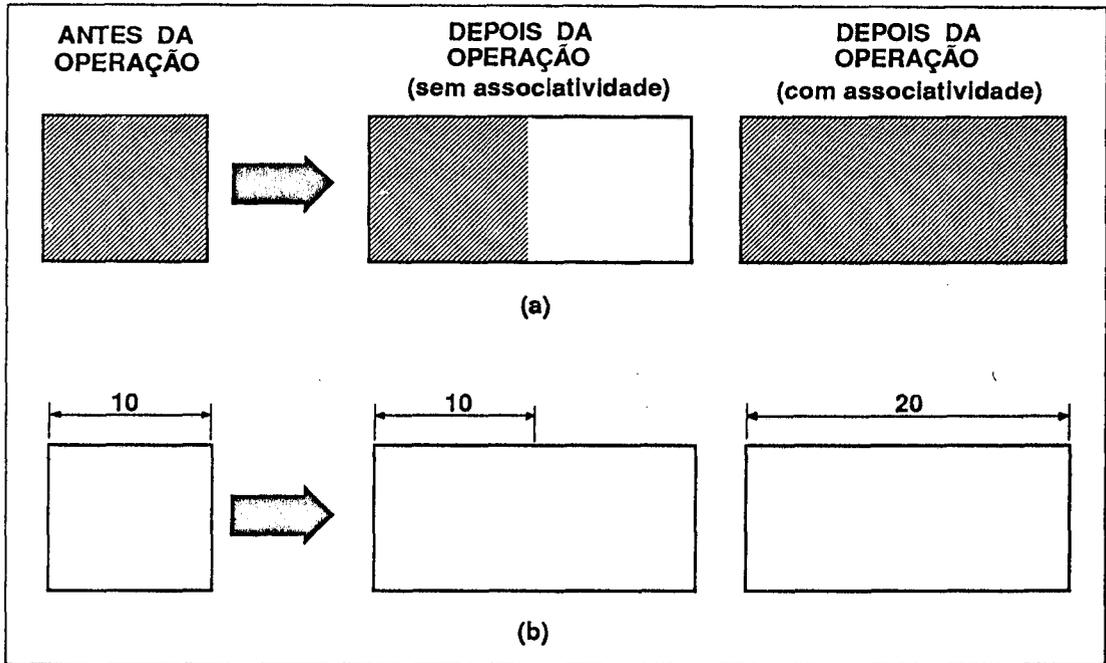


Figura A.38 - Exemplo para caracterizar a técnica de modelamento com recursos de associatividade em operações (a) com hachuras e (b) de cotagem [61].

Adicionalmente, é importante analisar recursos oferecidos para a confecção de hachuras, especificação de cotas, textos e símbolos.

Para o modelamento de cavidades

O critério central da metodologia de Benchmark consiste em testar o sistema a partir de um modelo geométrico representativo do espectro de peças ou projetos que a empresa produz [96]. Portanto, a complexidade geométrica das cavidades, que normalmente são produzidas pela empresa, deve ser o fator

que define o modelo representativo a ser utilizado para o teste dos sistemas a serem avaliados a partir da seleção inicial. A **Figura A.39** mostra um exemplo de peça-modelo utilizada por uma empresa de moldes alemã, como representativa do espectro de peças (cavidades) que produz.

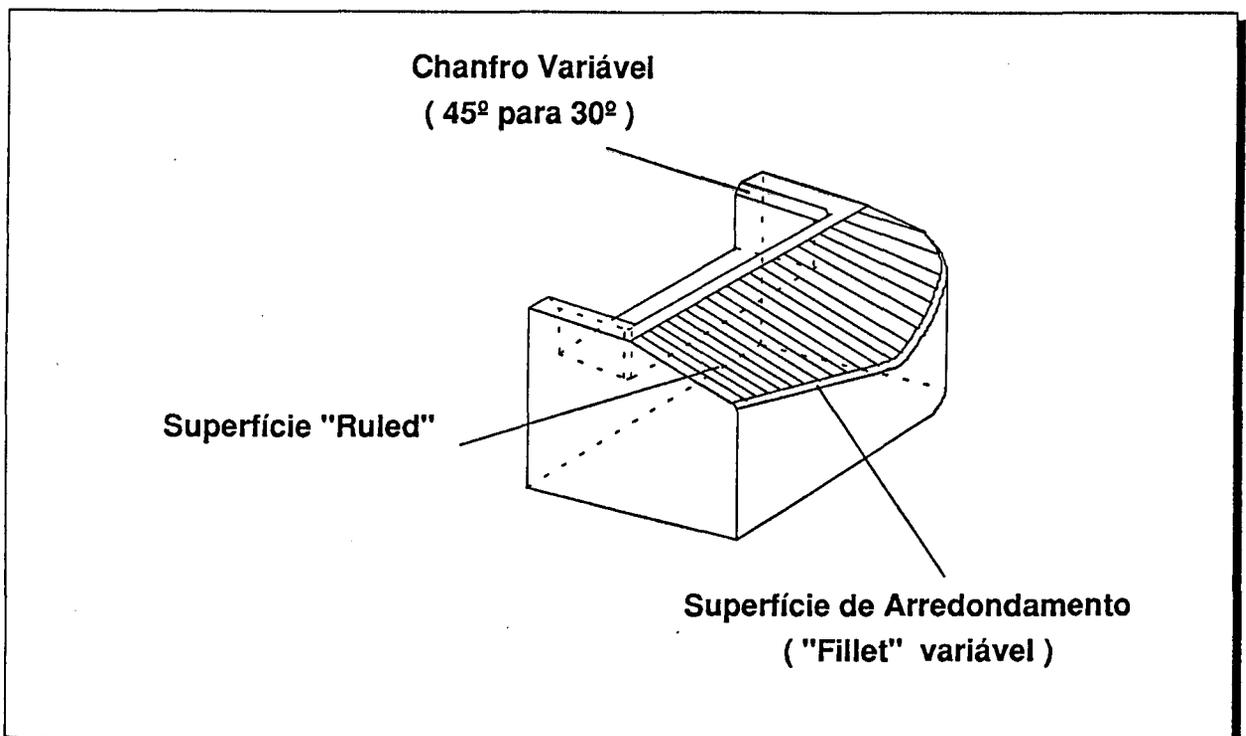


Figura A.39 - Peça/cavidade utilizada como modelo para avaliação em testes de Benchmark por uma empresa de moldes alemã [90].

Considerando que o modelamento da cavidade (seja a parte fêmea ou o macho, seja uma peça única ou dividida em partes, para a confecção de eletrodos), deve ser feito de forma a facilitar operações de fabricação, torna-se especialmente importante, nos testes de Benchmark, avaliar recursos e facilidades capazes de considerar todas as necessidades específicas da área de confecção de moldes de injeção, quais

sejam: modelar ângulos de saída; compensar contrações do plástico; compensar diferença devido a fenda de trabalho do processo de eletroerosão; segmentar o modelo recebido de clientes (via IGES, VDA-FS, etc) de acordo com regiões de interesse, para posterior usinagem por partes; etc [12]. Relatos de dificuldades e, principalmente, tempos de modelamento considerados muito extensos, por parte de usuários mais exigentes, para o caso em que estas necessidades devem ser consideradas, não se constituem uma raridade [12, 15]. Considerações mais detalhadas sobre a importância de avaliar, nos testes de Benchmark, os recursos de modelamento de cavidades mencionados, são apresentadas na Parte 4 deste manual.

III. Sistemas CAM

Em se tratando especificamente de módulos CAM, devem ser avaliados, dentre outros, recursos oferecidos para a geração das trajetórias de usinagem, como por exemplo, estratégias de desbaste e acabamento, informações com relação aos tempos de usinagem, bem como, facilidades para acessar e trabalhar com banco de ferramentas.

Muito importante é avaliar os recursos oferecidos em termos de simulação gráfica das trajetórias de usinagem. Alguns sistemas já oferecem recursos que visam auxiliar o programador no controle de colisões, por parte das ferramentas, o que é importante para o caso de usinagem das cavidades, devido

à crescente complexidade assumida pelas formas das peças de plástico.

Adicionalmente, devem ser cuidadosamente testados os pós-processadores para os controles das máquinas CNC disponíveis na empresa.

Parte 4

Considerações sobre o emprego de sistemas CAx em empresas fabricantes de moldes de injeção

A.4.1. Considerações gerais

Em função do crescimento do setor de plásticos e dos avanços tecnológicos na área da informática, é cada vez maior o interesse, em sistemas CAx, por parte de empresas ligadas ao desenvolvimento de produtos de plástico. Especificamente para as fases de concepção, projeto e fabricação de moldes de injeção, sistemas CAE, CAD e CAM, respectivamente, têm sido bastante difundidos e considerados, por muitos, como a única solução para manter as empresas competitivas dentro do mercado de terceirização em que se encontram.

Apesar das diversas possibilidades e recursos que são oferecidos pelos sistemas CAx (conforme descrito na Parte 2), bem como do fato das empresas procurarem cumprir os passos e critérios de ordem organizacional que se fazem necessários, para que a implantação ocorra de maneira eficaz (conforme descrito na Parte 3), o emprego de sistemas CAx, na indústria de moldes de injeção, ainda apresenta resistência e insatisfação por parte de usuários mais exigentes. Esta situação se deve, em parte, a dificuldades e problemas que podem surgir nas diversas fases do processo [12, 56, 68].

Para melhor caracterizar as dificuldades que ainda ocorrem no emprego destas tecnologias, principalmente no sentido de orientar o setor a respeito das limitações ainda existentes, serão abordadas, a seguir, algumas considerações e recomendações que visam facilitar o emprego de sistemas CAx em cada uma das fases básicas do ciclo de desenvolvimento de moldes de injeção para plásticos.

A.4.2. Fase de concepção: sistemas CAE

Conforme descrito na Parte 2, em se tratando de sistemas CAE, o maior interesse do setor de moldes de injeção tem sido direcionado, até o presente momento, no sentido de programas 3D para análise reológica. Em linhas gerais, tais programas englobam as seguintes etapas principais: modelamento, geração da uma malha, via de regra, de elementos finitos, seleção do material e dos critérios para a simulação, simulação propriamente dita e interpretação dos resultados.

Etapa de modelamento

O modelamento geométrico de peças/cavidades pode ser realizado em um sistema CAD e posteriormente transferido para o sistema CAE ou em um módulo específico de modelamento do próprio sistema CAE. Entretanto, convém salientar que a representação da cavidade, através de um conjunto de superfícies formando uma "casca", e dos canais de injeção, através de

segmentos de reta, se constitui em um modelamento simplificado, onde nem todos os detalhes de projeto são representados, conforme mostram os exemplos das Figuras A.40 e A.41.

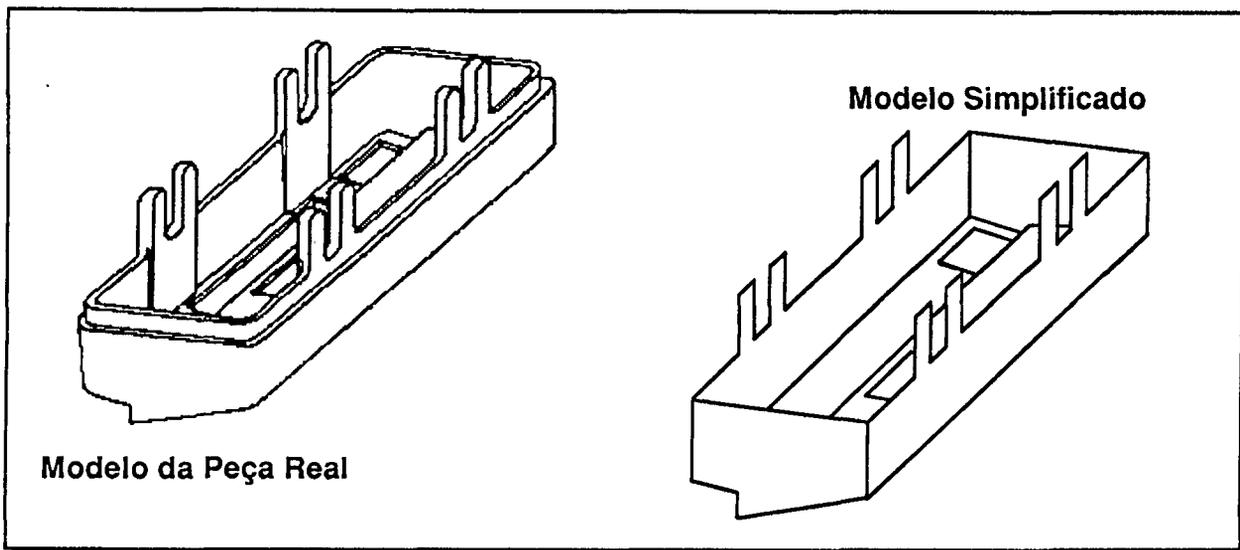


Figura A.40 - Exemplo de simplificação da geometria da peça/cavidade a ser adotada para um modelamento no sistema CAE.

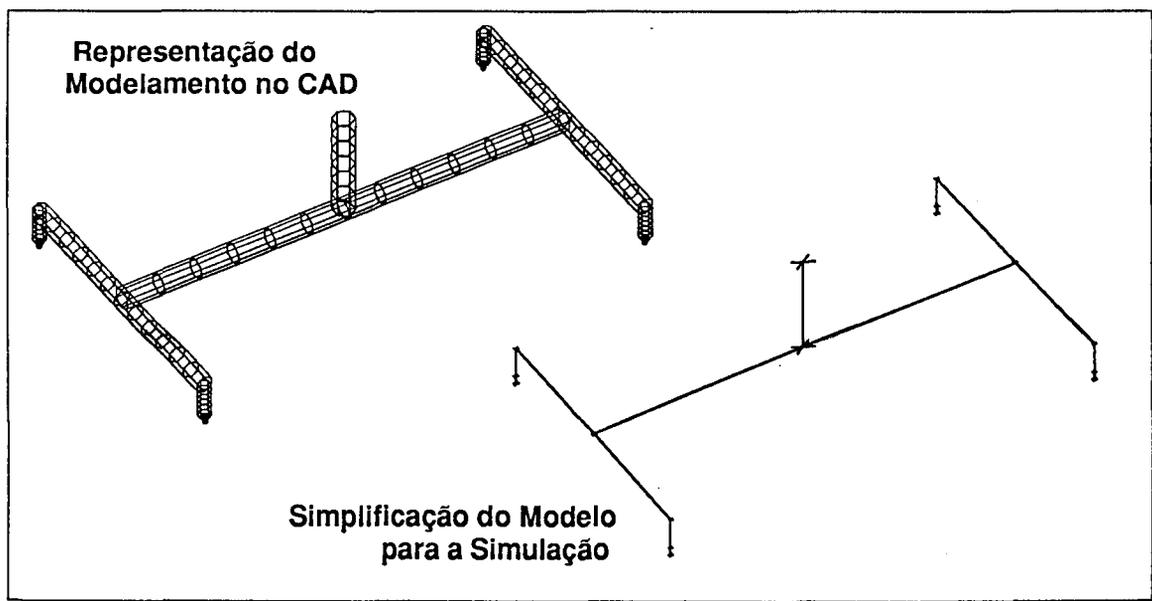


Figura A.41 - Exemplo de simplificação da geometria dos canais de injeção para um modelamento no sistema CAE.

Desta forma, a simplificação da geometria, no modelamento, é feita a partir da sensibilidade do projetista. Em se tratando de peças consideradas geometricamente complexas, a decisão por simplificações pode se tornar uma tarefa difícil, em função da incerteza do grau de simplificação que pode ser adotado sem prejudicar os resultados fornecidos pela análise [98].

No caso do modelamento da "casca" (ver Figura A.17, Parte 2) ser feito no módulo do sistema CAE, em geral, o projetista deve seguir os seguintes passos [68, 98]:

- I. Introduzir, via teclado, as coordenadas x, y e z de pontos considerados importantes para a descrição da peça/cavidade;
- II. Modelar retas, a partir dos pontos gerados anteriormente, que descreverão a estrutura "wireframe" da peça/cavidade;
- III. Modelar superfícies planas, a partir da seleção de retas, anteriormente geradas, sendo estas as arestas que delimitam as áreas desejadas;
- IV. Para cada superfície, informar ao sistema o valor da espessura correspondente às dimensões desejáveis no projeto da peça/cavidade.

Para o caso do modelamento dos canais de injeção, após os passos I e II, deve ser informada a medida de seus diâmetros.

Os passos descritos mostram que o processo de modelamento é trabalhoso, muitas vezes demorado e sujeito a erros, em função de gerar dúvidas com relação ao posicionamento

das superfícies "médias", especialmente quando as espessuras de projeto da peça de plástico não forem constantes, levando a fêmea a ter uma forma geométrica diferente da apresentada pelo macho [15, 68, 69].

Conforme citado inicialmente, o modelamento pode ser feito em um sistema CAD, de forma a se obter um modelo tridimensional da peça. Este procedimento é considerado vantajoso, uma vez que, libera o sistema CAE para a realização tão somente de análises. Além disso, o modelamento no CAD apresenta vantagens, principalmente por possibilitar o emprego de técnicas de espelhamento, rotação, translação e outras facilidades peculiares que, por vezes, não estão disponíveis nos modeladores dos sistemas CAE. Assim, as superfícies médias, modeladas com recursos do sistema CAD, podem ser transferidas para o sistema CAE, através de uma interface neutra apropriada (por exemplo: VDA-FS).

Entretanto, este procedimento não evita que, não raro, o projetista tenha de realizar alterações e adaptações no modelo geométrico, após sua transferência para o CAE, para que o programa gerador de malhas de elementos finitos possa gerar uma malha livre de defeitos, ou seja, apresentando uma distribuição mais homogênea possível dos elementos sobre a geometria do modelo. Exemplos de alterações, que podem ser necessárias, são o reposicionamento de superfícies no espaço ou a decomposição de uma superfície em duas ou mais [69].

Em muitos casos, o processo de realizar alterações torna-se tão extenso e trabalhoso, que é preferível transferir, para o módulo gerador de malhas, somente as

informações a respeito das coordenadas dos pontos e das retas, e redefinir as superfícies no modelador do sistema CAE [68, 69]. Assim, segundo [68], é bastante recomendável adotar uma sistemática no processo de modelamento, através do emprego de formulários apropriados, onde as informações sobre as coordenadas dos pontos e das superfícies devidamente registradas, facilitarão uma posterior alteração da geometria, caso necessário.

Em função das modificações, normalmente necessárias, e dos longos tempos requeridos para tal, o desenvolvimento de algoritmos para gerar automaticamente as superfícies médias (em "casca"), a partir de um modelo da peça representado em sólido no CAD, torna-se uma questão fundamental para facilitar e agilizar o processo de desenvolvimento de moldes, via sistemas CAx, constituindo-se em uma linha de pesquisa que deve ser seguida pelos fornecedores dos sistemas em questão [15, 69, 70].

Etapa de geração da malha

Para a geração da malha os sistemas CAE possuem módulos específicos que, via de regra, permitem que a mesma seja gerada de forma semi-automática ou automática. Considerando o exemplo de sistemas que geram malhas de elementos finitos (FEM), no primeiro caso, através de recursos de modelamento, o usuário divide cada aresta, pertencente a uma superfície do modelo, em segmentos de reta, de modo a gerar pontos sobre as arestas, a

partir dos quais o sistema calcula, de forma automática, a malha de elementos finitos. No processo automático de geração, basta ao usuário informar o tamanho desejado para o elemento. O sistema calcula, então, o número de elementos finitos a serem inseridos, em cada área do modelo [68].

Da mesma forma que no caso da etapa de modelamento, a malha pode ser gerada através de módulos específicos (programas) existentes em alguns sistemas CAD e, posteriormente, transferida para o sistema CAE, por meio de uma interface de conversão apropriada.

Entretanto, após a transferência, a malha poderá apresentar problemas de má formação dos elementos (conforme o exemplo mostrado na **Figura A.42**), muitas vezes causados por interfaces de conversão não devidamente elaboradas, pelos desenvolvedores/fornecedores de sistemas CAD [15, 69].

Por outro lado, modelamentos inadequados, realizados na etapa anterior, podem gerar, em certas regiões do modelo, elementos de dimensões muito grandes ou muito pequenas, que não satisfazem as condições recomendadas para a relação largura/comprimento do elemento [68, 71].

Tais situações exigem, que a etapa de modelamento tenha de ser refeita e, dependendo da complexidade da geometria a ser modelada, o processo pode consumir um tempo adicional significativo na preparação da geometria para a simulação propriamente dita [15, 68, 98].

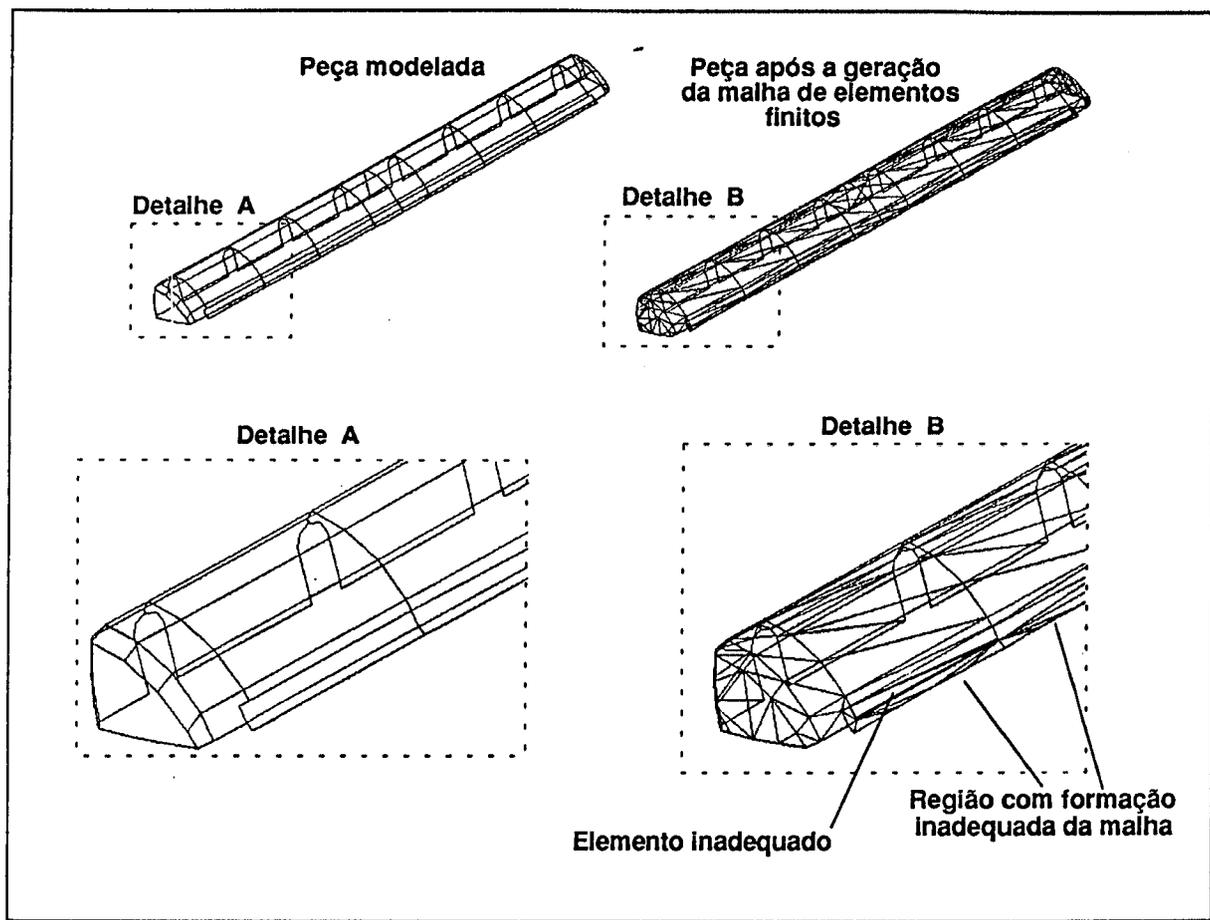


Figura A.42 - Exemplo de uma malha de elementos finitos com problemas de má formação dos elementos.

Etapas de seleção do material e dos critérios para a simulação

Basicamente, a seleção dos critérios para a simulação engloba as atividades: indicação do local do(s) ponto(s) de injeção; análise das características do material a ser injetado, a partir de informações contidas em Bancos de Dados de Plásticos; especificação dos parâmetros iniciais do processo.

A localização de pontos de injeção, na representação da peça/cavidade modelada, corresponde a uma

posição de um ponto (nó) da malha de elementos finitos. Via de regra, os sistemas CAE permitem simular situações que apresentam um ou múltiplos pontos de injeção. Contudo, convém salientar que, nos casos em que a malha tenha sido gerada em um sistema CAD e importada pelo sistema CAE, especialmente em peças consideradas complexas, sob o ponto de vista de modelamento, a posterior especificação do ponto de injeção, através da escolha do nó mais apropriado da malha, pode vir a ser uma tarefa trabalhosa. Isto se deve ao fato de que, dificilmente, a posição do nó corresponderá à posição exata do ponto de injeção estipulada no projeto da peça/cavidade. Se o critério de precisão de posicionamento do ponto de injeção for considerado fundamental, encontrar o compromisso entre simplificar o modelo geométrico e escolher o nó representativo do ponto de injeção, pode ser demorado e complicado [68, 98].

Para a análise das características do material a ser injetado, conforme citado na Parte 2, o usuário pode acessar Bancos de Dados contendo informações sobre polímeros fabricados por diferentes fornecedores a nível mundial. Normalmente, os pacotes de sistemas CAE, para análises reológicas, incluem Bancos de Dados próprios e/ou programas específicos que acessam Bancos de Dados de diversos fornecedores de polímeros para a indústria de transformação de plásticos, conforme os exemplos apresentados na **Tabela A.V**. A partir destes, o usuário obtém informações a respeito de propriedades mecânicas, térmicas, elétricas, óticas e de processamento dos plásticos, de modo a estipular as condições iniciais para a realização da simulação

do processo de injeção. Uma descrição mais detalhada a respeito pode ser encontrada em [68, 99, 100].

Nome Comercial	Empresa	Computador	Número de Materiais	Dados/ Material	Acesso
Polymat	DKI	Grande Porte	6.000	~ 200	Modem/PC
Polymat PC	DKI	PC	6.000	40	Disquete
EDD	General Electric	Grande Porte	> 100	-	Modem/PC
Plaspec	Plastics Technology	Grande Porte	9.000	56	Modem/PC
Rheodat/ Graph1	BASF	PC	~ 270	2	Disquete
RP3L	Rhone-Poulenc	PC	76	35	Disquete
CAPS	Polydata	PC	6.000	~ 100	Disquete
EPOS 90	ICI	PC	~ 600	max. 50	Disquete
Dacapo	Akzo	PC	121	19	Disquete
Plascams	Rapra Technology	PC	220	43	Disquete
CAMPUS Versão 2	22 fabric. polímeros	PC	varia por fabric. até 1000	40	Disquete
Thermfil	Thermofil	PC	~ 450	26	Disquete

Tabela A.V - Informações referentes à Bancos de Dados de materiais poliméricos [68].

Etapa de simulação propriamente dita

A simulação do processo de injeção (análise reológica), em sistemas CAE, é constituída por uma fase de processamento e outra de pós-processamento de informações.

A fase de processamento corresponde a programas que calculam, para cada nó da malha de elementos finitos, os valores das grandezas (pressão, temperatura, tempo, tensão de cisalhamento, etc) que representam o comportamento do plástico durante o processo de enchimento da peça/cavidade. Alguns

programas oferecem a possibilidade de processar somente as informações referentes à trajetória mais longa, percorrida pelo plástico na cavidade, estimada pelo usuário através de um processo manual bidimensional, cujos detalhes descritivos podem ser encontrados em [68, 99, 100]. Apesar desta possibilidade permitir que o usuário faça uma rápida avaliação se as condições de preenchimento da peça/cavidade estarão asseguradas, com os valores dos parâmetros por ele selecionados, [69, 71], sua validade depende da capacidade e experiência do usuário em estimar corretamente a trajetória mais longa percorrida pelo plástico. Para peças complexas, com múltiplos pontos de injeção, esta possibilidade fica bastante comprometida.

A fase de pós-processamento se caracteriza por programas responsáveis pelo processamento das informações calculadas na fase anterior, para que possam ser representadas adequadamente ao usuário, na forma de tabelas ou via representação gráfica, na tela do computador. Adicionalmente, aos recursos de visualização dinâmica tridimensional do processo, alguns sistemas CAE oferecem recursos semelhantes aos de sistemas CAD, quais sejam, funções "zoom", janela e outros de manipulação do modelo representativo do processo de injeção (translação, rotação, etc).

Etapa de interpretação dos resultados

Os resultados de simulação do processo de injeção, obtidos a partir de parâmetros iniciais fornecidos pelo usuário, são apresentados em forma de tabelas ou através de

gráficos indicativos da distribuição das principais grandezas (pressão, temperatura, tempo, tensão de cisalhamento, etc) representativas do comportamento do plástico, no interior da cavidade, durante o processo de enchimento.

Apesar da visualização da simulação, na tela do computador, ser feita a cores, dinamicamente e de já existir sistemas que representam, na tela, por exemplo, o posicionamento de linhas de solda [73], a interpretação e análise dos resultados fornecidos, para uma posterior tomada de decisão a respeito de eventuais alterações de projeto que se fizerem necessárias, é completamente dependente do usuário. Ou seja, os benefícios advindos do auxílio destes programas só serão obtidos se o usuário tiver **boa experiência** em projeto de moldes e conhecimentos abrangentes sobre fenômenos relacionados ao processo de injeção [68, 74, 98]. Tal fato contribui para elevar ainda mais os custos, normalmente altos, de sistemas CAE voltados para a área de moldes, em função de necessitar de profissionais qualificados, cada vez mais raros no setor [15].

Para amenizar esta situação, bastante interessante seria a possibilidade dos sistemas CAE oferecerem recursos para facilitar o treinamento de pessoal, não somente no sentido de manipular o software, mas sobretudo, facilitar a aprendizagem a respeito de como interpretar os resultados fornecidos, para que o usuário possa obter soluções adequadas, mais rapidamente, sem necessitar de grande experiência.

Neste sentido, inteligência artificial, sistemas gerenciadores de base de conhecimentos e sistemas especialistas, são conceitos que devem ser explorados pelos desenvolvedores de

sistemas CAE para o setor de moldes. Isto porque, o processo de aprendizagem e transferência de conhecimentos, neste setor, via de regra, leva muitos anos, em função da maneira assistemática com que é realizado, passando tais conhecimentos de mestres para aprendizes [46].

A.4.3. Fase de Projeto: sistemas CAD

Especificação dos Componentes do Molde

Em linhas gerais, as principais características desejáveis, em um módulo voltado para especificar desenhos técnicos de moldes em sistemas CAD, são [15, 101, 102]:

- **Rapidez** na elaboração dos desenhos técnicos;
- **Flexibilidade** na escolha do fornecedor/fabricante dos acessórios;
- **Adaptabilidade** aos acessórios de maior interesse e utilização na empresa, ou seja, software independente do catálogo do fornecedor/fabricante;
- Possibilidade de **repassar informações de interesse para o setor de fabricação** (por exemplo: locais nas placas, onde devem ser usinados os canais de refrigeração).

Conforme citado anteriormente, as placas e os principais acessórios, normalmente encontrados no projeto de moldes de injeção, podem ser rapidamente desenhados, pelo

usuário, a partir do acesso a bancos de dados que contém as informações referentes a seu dimensionamento.

Apesar de existirem diferenças, na seqüência de procedimentos a serem executados, entre os módulos de diferentes fornecedores de sistemas CAD, a exemplo do modelamento de um molde do tipo "Standard", conforme ilustrado na **Figura A.43**, basicamente, os seguintes passos devem ser realizados pelo usuário [15, 81, 102, 104, 105]:

- Selecionar os desenhos representativos da geometria da cavidade do molde, modelados de acordo com o "lay-out" (vistas de projeto), em que o molde será desenhado;
- Selecionar a biblioteca de dados a ser utilizada, em função do fabricante/fornecedor (DME, HASCO, STRACK, RABOURDIN, etc);
- Especificar o tipo de "lay-out" a ser utilizado para representar os desenhos técnicos (caso o sistema apresente esta possibilidade);
- Especificar e avaliar o dimensionamento de insertos para as placas do macho e da fêmea, de acordo com suas dimensões (caso o sistema apresente esta possibilidade);
- A partir das placas do macho e da fêmea, selecionar, passo-a-passo, as demais placas oferecidas pelo sistema, de acordo com as dimensões de montagem do fabricante/fornecedor;

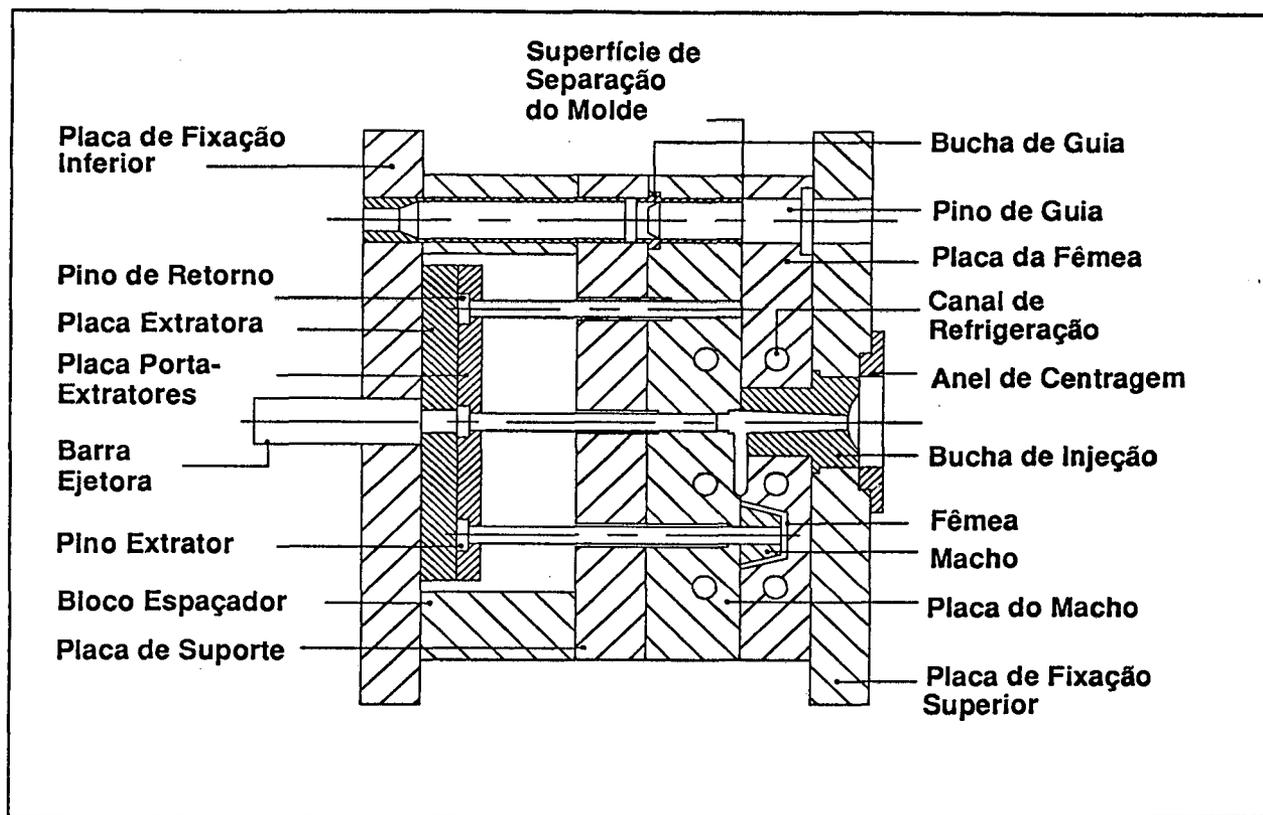


Figura A.43 - Representação dos componentes básicos de um molde do tipo "Standard" [12].

- Continuar o processo de seleção, para o caso dos demais acessórios oferecidos pelo fabricante/fornecedor, até completar a montagem básica (como a do exemplo mostrado na Figura A.43);
- Utilizar recursos de modelamento do sistema CAD, para acrescentar áreas hachuradas e informações adicionais (símbolos, textos, etc);
- Gerar a lista de materiais ("Bill of Materials").

Conforme já citado na Parte 2, existem sistemas que oferecem ao usuário, a possibilidade de selecionar desenhos completos de moldes já montados, a partir de diferentes soluções

de montagem oferecidas, no sentido de reduzir tempos gastos na seleção individual de cada componente [77, 103]. Alguns, possibilitam que seja gerado um documento contendo as informações referentes às dimensões e às coordenadas de pontos em locais onde devem ser usinados os furos dos canais de refrigeração e passagens de extratores [81, 104]. Outros, fornecem, adicionalmente, documentos contendo informações relativas aos custos da solução de montagem adotada [103].

Apesar de grandes avanços já conseguidos no desenvolvimento de tais softwares ainda existe resistência, com relação ao seu emprego. A experiência tem mostrado que algumas das causas desta situação podem ser resumidas, através dos seguintes argumentos [15, 46, 105]:

- a. Apesar de já existirem sistemas que possibilitam que placas e acessórios de diferentes fabricantes possam fazer parte de um mesmo desenho técnico [81, 104], empresas voltadas para um mercado de exportação e/ou para clientes especiais, que possuem catálogos próprios, terão de adquirir os módulos para todas as bibliotecas de seus principais fornecedores/fabricantes. Esta situação não é considerada, pelo setor, como a mais adequada para seu interesse, principalmente, se for considerado o número, cada vez mais elevado, de fornecedores de acessórios padronizados existentes no mercado de moldes para injeção de plástico. Adicionalmente, nem todos os acessórios disponíveis na biblioteca de dados, do catálogo eletrônico de um determinado fabricante/fornecedor, são de interesse da empresa de moldes.

No projeto é desejável empregar, aqueles acessórios considerados os de melhor qualidade, e que não necessariamente, pertencem ao catálogo de um único fabricante/fornecedor;

- b. A introdução de extratores, canais de refrigeração e acessórios, cujas posições, no desenho técnico, dependem da posição e forma geométrica da peça/cavidade, via de regra, não ocorre de forma automática, mediante o remodelamento de todo o desenho. O resultado disto é que, em muitos sistemas, após a inserção, por exemplo, dos extratores, conforme ilustrado no exemplo da **Figura A.44**, para que a representação dos desenhos fique correta, todas as linhas (que definem o extrator e interceptam outras partes do molde) que, em corte, não devem ser representadas, terão de ser eliminadas do desenho (em operações de "trimming"). Assim, o trabalho torna-se repetitivo, cansativo e muitas vezes demorado, prejudicando as vantagens alcançadas com o processo de padronização e técnica de parametrização, embutidas no sistema.

- c. Dimensões especiais de moldes, como é o caso requerido para muitas peças/cavidades, não disponíveis na biblioteca gráfica de um dado fabricante/fornecedor (apesar de alguns sistemas permitirem que sejam modeladas e arquivadas na biblioteca, para utilizações futuras, caso necessário) é mais um argumento que causa resistência ao emprego dos atuais softwares, segundo algumas empresas do setor.

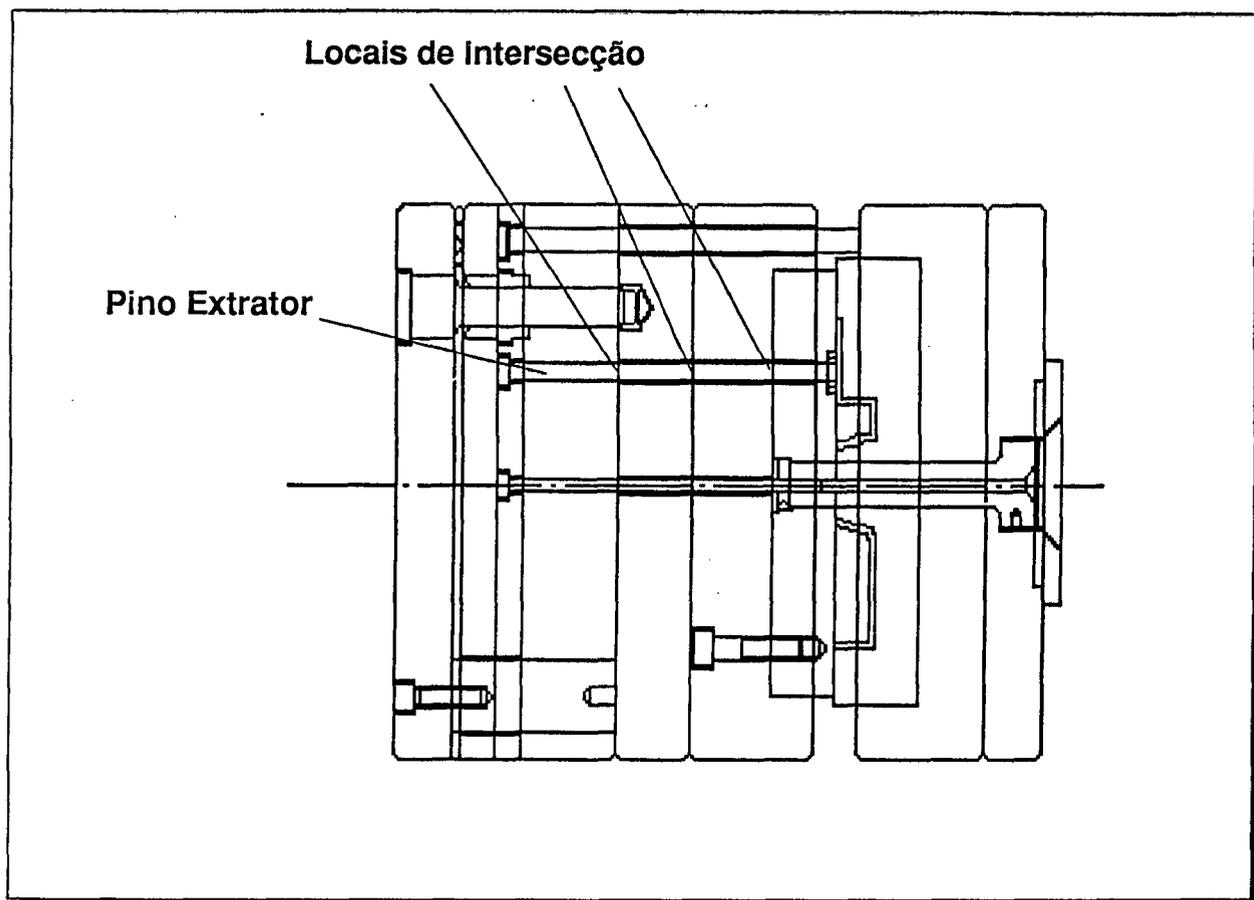


Figura. A.44 - Exemplo do resultado de um desenho de um molde, via recursos de bibliotecas gráficas, mostrando a intersecção entre linhas que definem o extrator e placas [81].

Em função do exposto e do fato de que o objetivo maior é facilitar as atividades de projetistas relacionadas à elaboração dos desenhos técnicos, para que os softwares possam atender, em linhas gerais, as principais características listadas anteriormente, os seguintes recursos e/ou facilidades,

dentre outros, devem ser oferecidos [15, 101, 102, 104, 105]:

- A interface de comunicação do sistema com o usuário deve ser **amigável**, de tal modo que a seleção das placas e acessórios ocorra através de uma fácil identificação dos componentes e **inteligente**, para permitir que a seleção e manipulação dos componentes ocorra de forma rápida e eficiente;
- O sistema deve possibilitar, ao usuário, representar as vistas de projeto, de acordo com o "lay-out" utilizado pela empresa de moldes;
- Insertos/postiços, normalmente fabricados separadamente, devem poder ser modelados de modo interativo com as placas onde serão inseridos, a fim de permitir comparações dimensionais (entre placas e insertos), facilitando a escolha das dimensões mais apropriadas para o projeto, conforme procedimento semelhante ao que ocorre na prática;
- O modelamento de canais de refrigeração deve ser tão amigável quanto o modelamento dos demais componentes disponíveis na biblioteca gráfica;
- Na inclusão de extratores, o sistema deve apresentar facilidades para recalcular, automaticamente, novas áreas que delimitam regiões a serem hachuradas, sem a necessidade do usuário ter de realizar repetitivas operações de seleção e

"trimming" de linhas, em locais onde os extratores interseptam-se com as placas do molde (ver Figura A.44);

- O sistema deve possibilitar que acessórios/componentes de diferentes fabricantes/fornecedores sejam selecionados para um mesmo desenho, gerando, paralelamente e de forma automática, a lista de materiais ("Bill of Materials") correspondente;
- Legendas e bordas, que delimitam as dimensões padronizadas para os tamanhos das folhas de desenho técnico utilizadas na empresa, devem ser gerados automaticamente;
- Símbolos e textos, utilizados como padrões nos desenhos técnicos da empresa, devem ser facilmente selecionados e introduzidos nos desenhos;
- A identificação e a cotação de todos os componentes é desejável que ocorra automaticamente.

Assim, é preciso que os módulos de sistemas CAD, voltados para facilitar a elaboração dos desenhos técnicos dos componentes do molde, apresentem recursos que possibilitem que a biblioteca de dados seja adaptada de acordo com os elementos e acessórios normalmente utilizados pela empresa, ou seja, facilidades no sentido de customização.

Alguns pesquisadores recomendam que sistemas CAD, voltados para a área de moldes de injeção, ofereçam módulos para programação parametrizada, através de uma linguagem de fácil

aprendizado, para que a biblioteca gráfica possa ser desenvolvida pelos usuários da própria empresa [15]. Exemplos, neste sentido, são as linguagens PPL (Parametric Programming Language), do sistema I/EMS (Intergraph), e o sistema SERMold, especialmente desenvolvido para o setor de moldes de injeção [46, 106].

Especificação da Cavidade

O modelamento da geometria de cavidades para moldes de injeção, em sistemas CAD, consiste em preparar um modelo para servir de referência à geração de programas NC, em sistemas CAM, para a usinagem de machos e fêmeas em máquinas de comando numérico. Assim, o sistema CAD deve ter recursos e facilidades para considerar, no modelamento, características específicas da área de moldes.

Conforme mencionado na Parte 2, existem sistemas que apresentam alguns recursos que visam facilitar o modelamento de, por exemplo: curvas para definir planos ou superfícies de abertura do molde (ver Figura A.23, Parte 2), superfícies equidistantes para considerar espessuras da peça de plástico, superfícies expandidas de um dado fator volumétrico para considerar percentuais de contração do plástico, etc. Adicionalmente, através de recursos que permitem que a geometria modelada seja facilmente reposicionada, em relação a um sistema de coordenadas estipulado pelo usuário, esta poderá servir de base para a usinagem do macho ou da fêmea, conforme mostrado na **Figura A.45**.

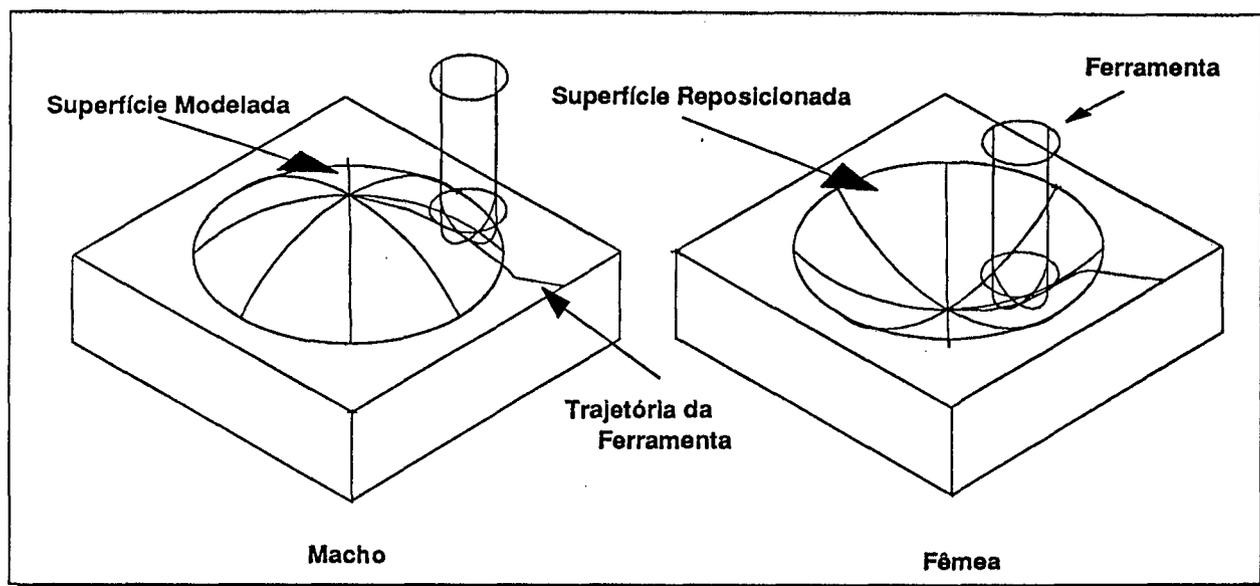


Figura A.45 - Exemplo de uma mesma superfície, modelada para usinar o macho e a fêmea, a partir do reposicionamento através de recursos do sistema CAD.

Entretanto, muitas vezes, por questões de projeto, as superfícies que descrevem a forma do macho diferem das da fêmea (como por exemplo: cavidades para carcaças de televisores, telefones, micro-computadores, painéis de automóveis, etc), de modo que os recursos de reposicionamento e geração de superfícies equidistantes não podem ser empregados para o modelamento de fêmeas a partir das superfícies que definem o macho ou vice-versa. Nestes casos, todas as superfícies, do macho e da fêmea, terão de ser modeladas separadamente e o processo pode ser bastante trabalhoso e extenso, dependendo da complexidade geométrica da cavidade [15].

Uma das principais características a ser considerada, no modelamento de cavidades para moldes de injeção,

diz respeito aos ângulos de saída, necessários para a extração da peça de plástico.

Tal peculiaridade é responsável por uma das principais dificuldades do modelamento de cavidades via sistemas CAD [12, 15]. A dificuldade será menor, se desde o início do modelamento das superfícies que definem a cavidade, os ângulos de saída forem levados em consideração, conforme sugerido em [12]. No entanto, na prática, o modelamento é realizado a partir de superfícies que descrevem a forma geométrica da peça a ser injetada, cujo modelo é fornecido pelo cliente, em algum formato neutro de comunicação entre sistemas CAD (IGES, DXF, VDA-FS, etc). Nestes casos, a inclusão de ângulos de saída é uma tarefa bastante complexa e demorada, uma vez que o "remodelamento" é feito através de diversas operações de "trimming" e "filleting", necessitando muita atenção e experiência, por parte do projetista [12, 15].

O processo de remodelamento, para a inclusão de ângulos de saída, consiste em reposicionar determinadas superfícies e remodelar outras previamente modeladas. Desta forma, novas posições de tangência, entre superfícies adjacentes, são calculadas, bem como, superfícies do tipo "filleting" ou "blending" terão de ser eliminadas e novamente calculadas.

A **Figura A.46** mostra um exemplo onde as superfícies de uma peça modelada, sem considerar ângulos de saída, tiveram de ser remodeladas.

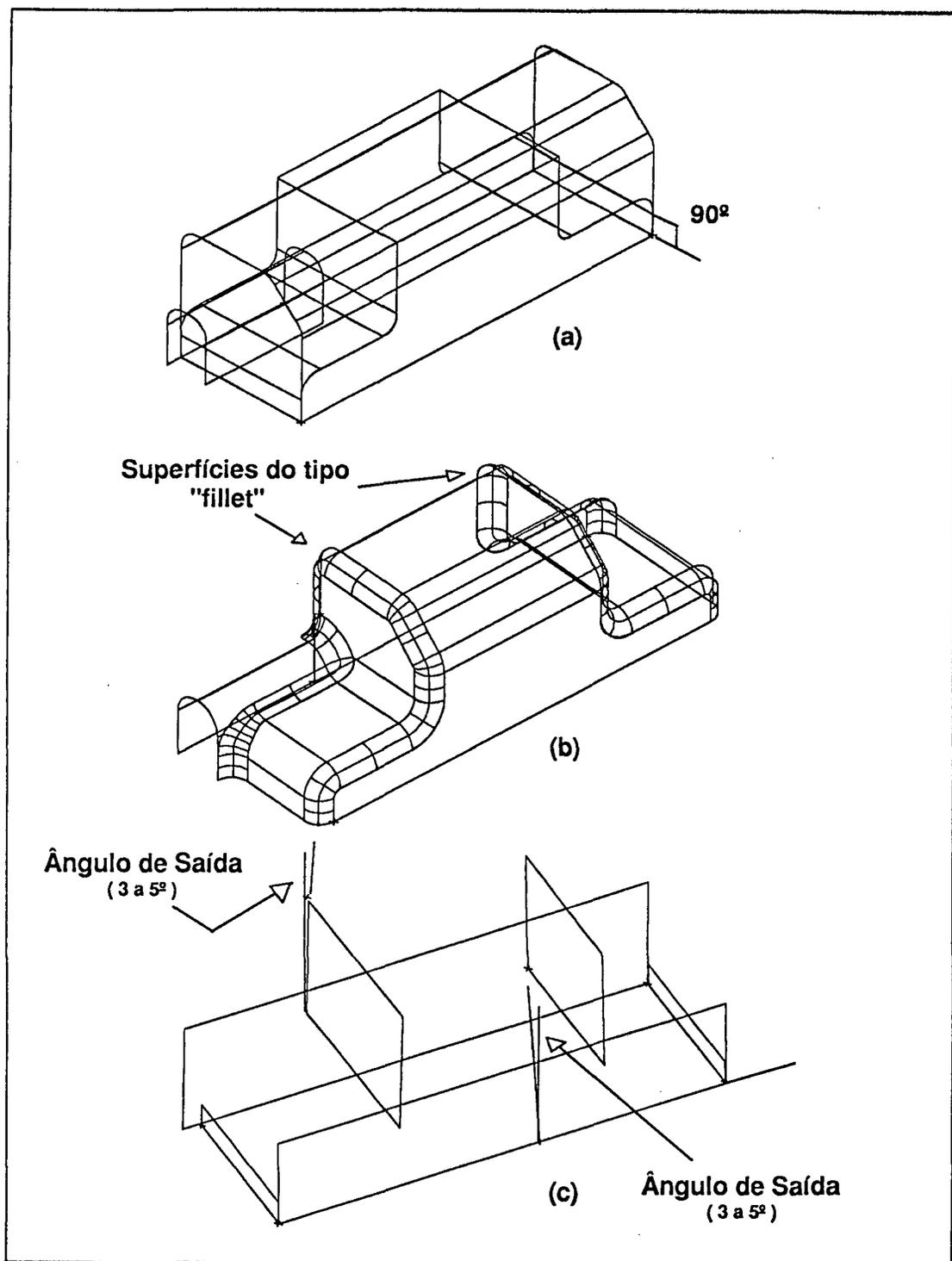


Figura A.46 - Exemplo de uma peça modelada (a) e (b) sem considerar ângulos de saída e (c) remodelamento das superfícies principais considerando ângulos de saída (obs: os "fillets" mostrados em (b) terão de ser recalculados) [12].

A Figura A.47 exemplifica, em um detalhe da peça/cavidade, o problema da descontinuidade (não tangência) entre duas superfícies (paredes do Perfil E e do canal), surgido após a consideração do ângulo de saída em ambas, ilustrando o tipo de retrabalho a ser realizado nas diversas superfícies onde o ângulo de saída deve ser considerado [12].

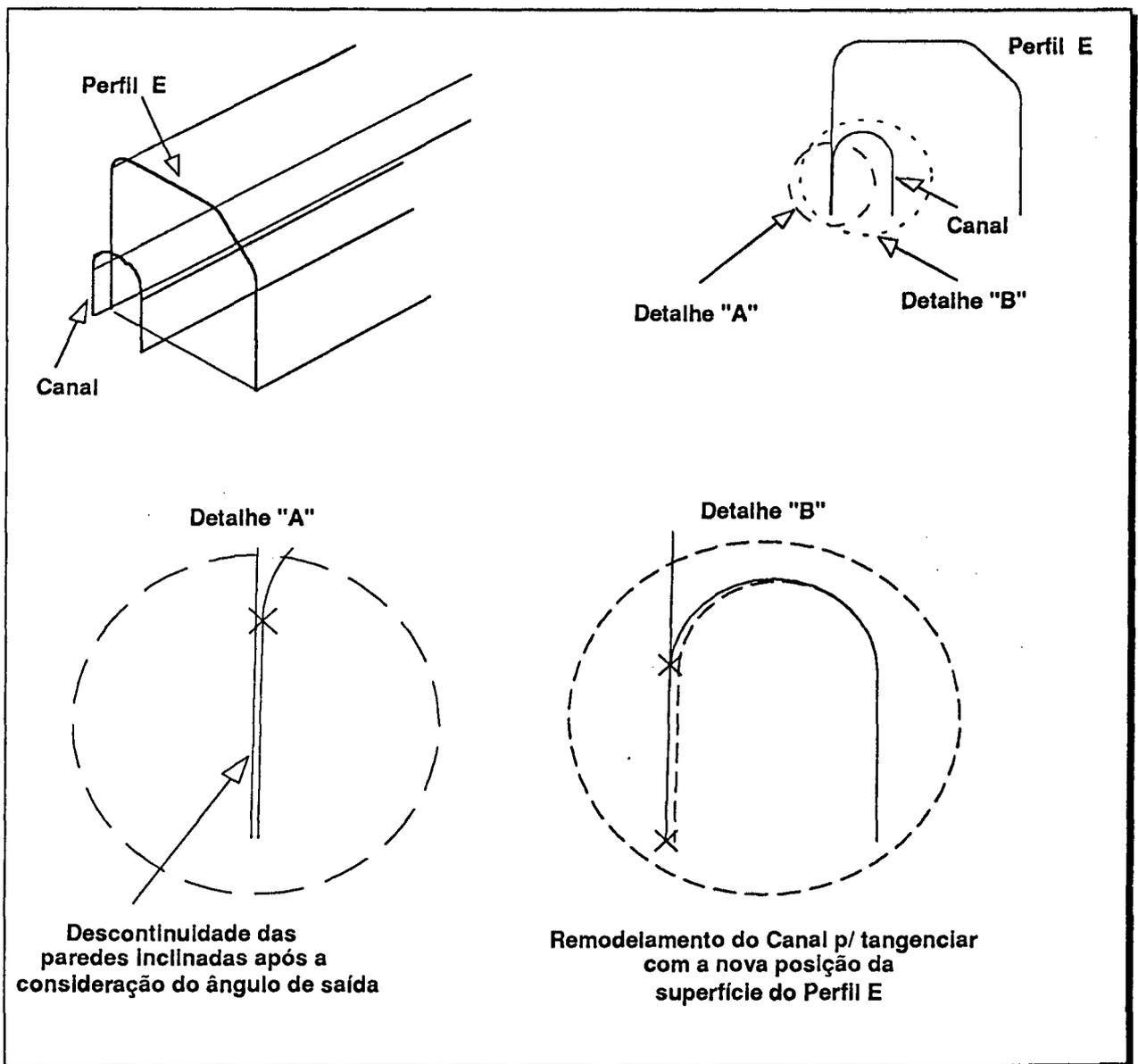


Figura A.47 - Exemplo de problema que surge no remodelamento para considerar ângulos de saída.

Outra característica bastante comum, no setor de moldes de injeção, é a necessidade de fabricar a cavidade por partes. Ou seja, alguns detalhes devem ser fabricados em máquinas de eletroerosão, enquanto que outras partes deverão ser usinadas em operações de fresamento. Em termos de modelamento, significa que o sistema deverá ter recursos que facilitem a segmentação do modelo criado no sistema CAD, conforme ilustra a **Figura A.48**, principalmente, quando este tiver sido modelado na empresa contratante dos serviços do fabricante de moldes, onde esta necessidade, normalmente, não é considerada. Também neste caso, o trabalho de modelamento se resume, principalmente, em operações de "trimming" e geração de novas superfícies, que servirão de fronteiras para a delimitação das regiões a serem separadas, requerendo bastante atenção por parte do usuário [12]. Adicionalmente, convém citar, que o processo de modelamento das cavidades não segue uma sistemática, ou seja, via de regra, cabe ao usuário a tarefa de escolher a melhor maneira de definir as superfícies. Do ponto de vista de modelamento trata-se de um aspecto vantajoso, pois fornece uma maior flexibilidade ao projetista, inclusive com a possibilidade de gerar superfícies compostas, a partir da união de mais de uma superfície. Contudo convém salientar que, em alguns sistemas, a referida flexibilidade pode gerar programas NC inadequados do ponto de vista de geração de trajetórias de usinagem. Assim, é recomendável que o usuário tenha conhecimentos básicos de técnicas de usinagem, para que possa discutir com os programadores das máquinas NC, qual a melhor técnica a ser

adotada no modelamento, em função do tipo de estratégia a ser utilizada para a usinagem da peça/cavidade.

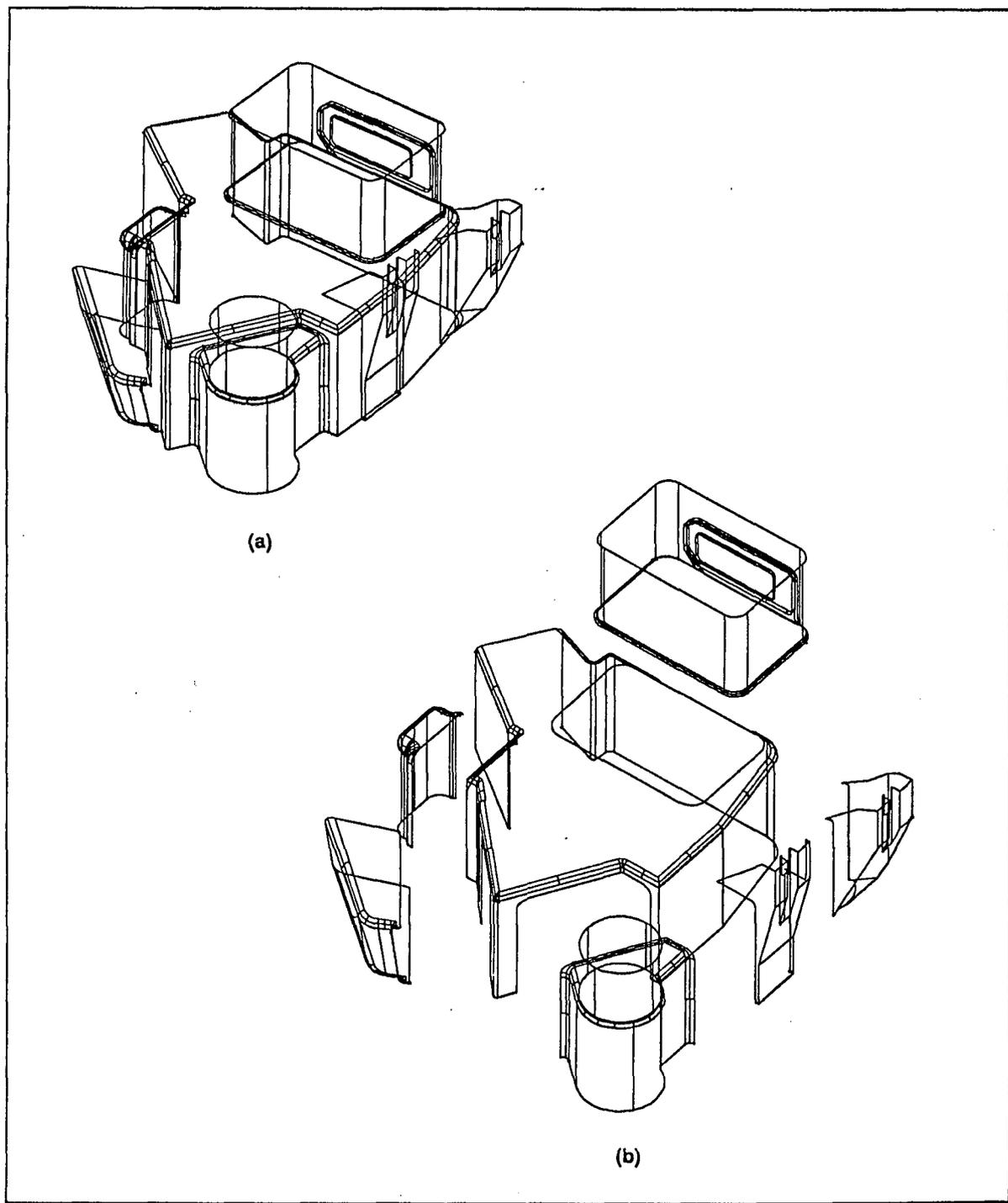


Figura A.48 - Exemplo de uma peça/cavidade (a) antes e (b) depois da separação das regiões a serem usinadas separadamente [12].

A **Figura A.49** mostra um exemplo onde a superfície que define a peça/cavidade foi obtida pela composição das superfícies nº1, nº2 e nº3, resultando em uma descontinuidade no sentido das trajetórias de usinagem, devido à desconsideração do fato mencionado no parágrafo anterior [15, 66].

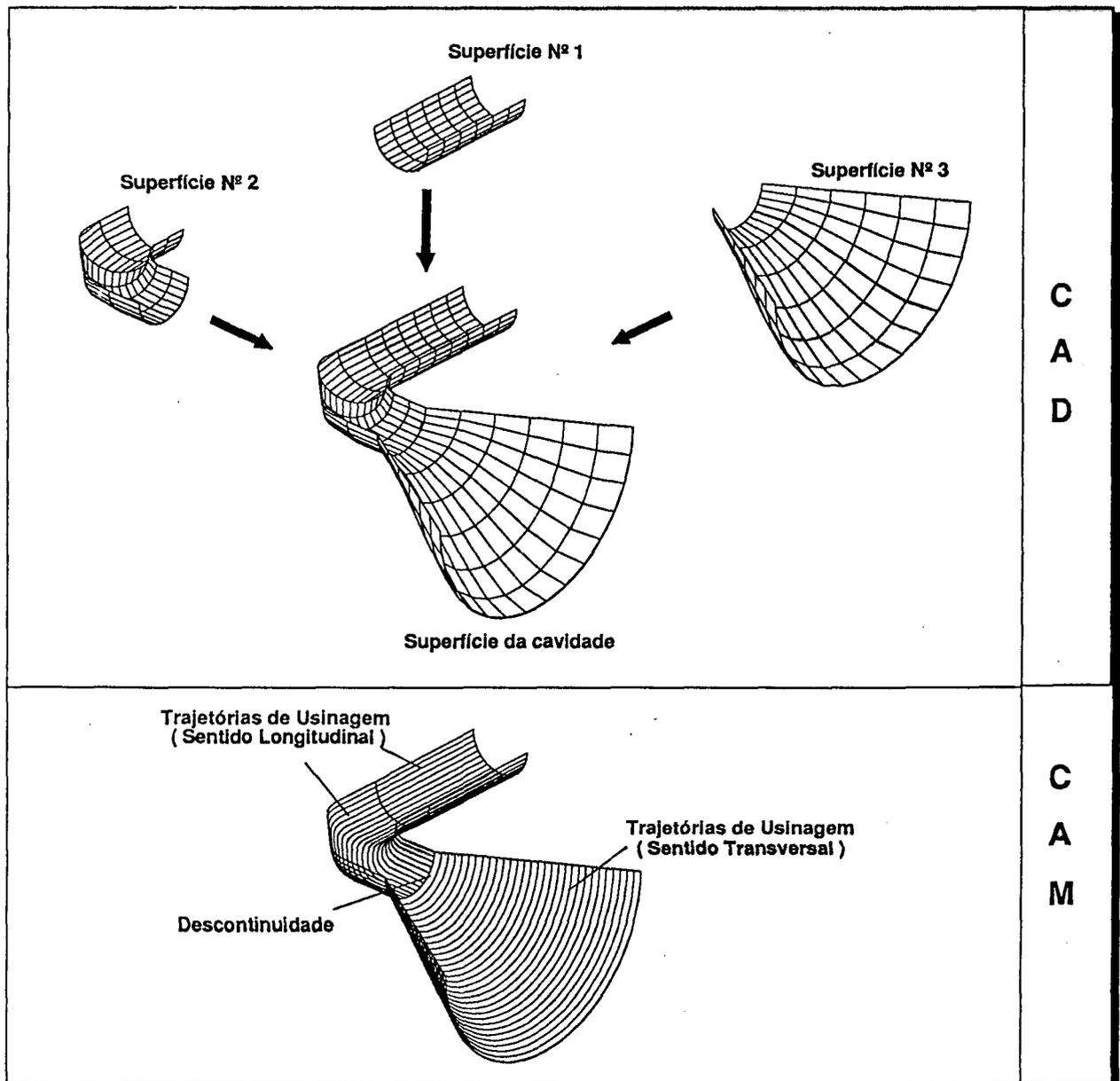


Figura A.49 - Exemplo de descontinuidade de trajetórias de usinagem devido a um modelamento sem considerar critérios de usinagem.

A preparação da geometria da cavidade para posterior usinagem no CAM requer, muitas vezes, a definição de novas superfícies que, apesar de não fazerem parte do modelo que descreve a peça de plástico, visam facilitar, posteriormente, a geração das trajetórias das ferramentas, em função de características ligadas ao processo de usinagem [107]. É o caso, por exemplo, da criação da superfície extra, mostrada na peça/cavidade da **Figura A.50**, que pode servir de exemplo para o modelamento de eletrodos de diversos tipos de peças do setor de plástico, tais como, aparelhos telefônicos, carcaças de televisores, teclados de micro-computadores, etc.

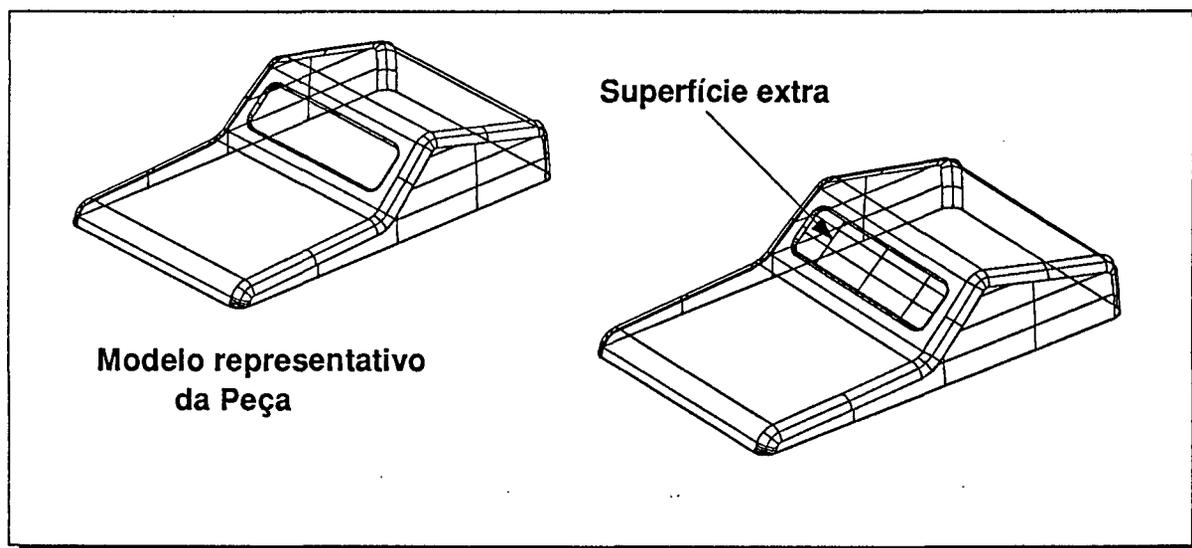


Figura A.50 - Exemplo de uma superfície extra, não pertencente ao modelo da peça de plástico, mas necessária para o modelo da cavidade.

Outro exemplo de geometrias que aparecem com freqüência em peças de plástico e que, portanto, os sistemas CAD

para o setor de moldes de injeção devem poder modelar com facilidade é o arredondamento de cantos formados por 3 superfícies, conforme ilustrado na **Figura A.51**.

Em todos os casos apresentados, é desejável que as funções de modelamento sejam realizadas com um número mínimo possível de informações a serem fornecidas pelo usuário. A necessidade, neste sentido, torna-se mais evidente, especialmente para moldes do setor automobilístico, onde não raro, as geometrias são formadas por um número considerável de superfícies (70 a 100), segundo ZIRBS[107]. No exemplo da geração da superfície extra, mostrada na Figura A.50, significa identificar ao sistema, tão somente as 4 curvas limites que a define.

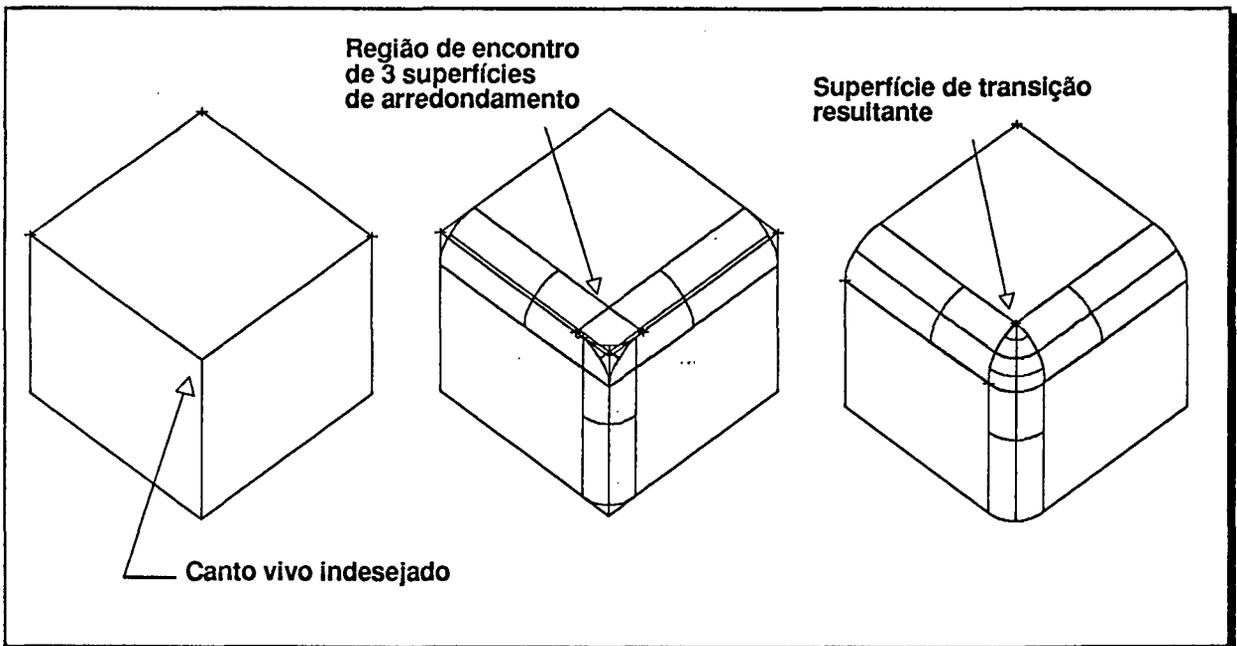


Figura A.51 - Exemplo de arredondamento de cantos formados pelo encontro de 3 superfícies.

A.4.4. Fase de Fabricação: sistemas CAM

Independente do sistema, em linhas gerais, as etapas a serem realizadas nesta fase são: importação do modelo gerado em sistemas CAD, planejamento do processo de usinagem, simulação das trajetórias, pós-processamento para geração do programa NC, transferência dos programas para o controle da máquina-ferramenta e usinagem propriamente dita. Para cada etapa, algumas considerações merecem ser citadas:

Importação do modelo gerado em sistemas CAD

Para dar continuidade ao processo de fabricação, via sistemas CAX, a possibilidade de sistemas CAM importar geometrias modeladas em sistemas CAD, se constitui em um fator fundamental, conforme já citado no item A.2.4 da Parte 2 deste manual. Em função de sua importância, maiores considerações serão abordadas mais adiante, no item A.4.5.

Planejamento do processo de usinagem

Conforme citado na Parte 2, o planejamento do processo, via sistemas CAM, consiste em informar detalhadamente ao sistema sob quais condições deverá ocorrer a usinagem. Para cada operação, uma vez escolhida a ferramenta e especificada a região a ser usinada, todas as condições tecnológicas de

usinagem devem ser informadas, de modo que o sistema possa calcular as trajetórias das ferramentas de corte.

O controle da precisão das trajetórias das ferramentas, responsáveis pelo acabamento superficial a ser obtido na peça, é feito, basicamente, através da informação ao sistema do [12, 15]:

- Valor máximo permissível da distância entre a superfície a ser usinada e a trajetória da ferramenta de corte, conforme ilustrado na **Figura A.52**, denominado de "**tolerância de usinagem**". Com esta informação, o sistema calcula os valores dos diversos pequenos movimentos lineares, que compõem as trajetórias da ferramenta, sobre as superfícies a serem usinadas. Desta forma, a geometria resultante da usinagem, formada pela composição dos deslocamentos lineares, poderá ser controlada pelo usuário, garantindo uma maior ou menor semelhança com a geometria modelada da peça, através de um maior ou menor valor da tolerância de usinagem.

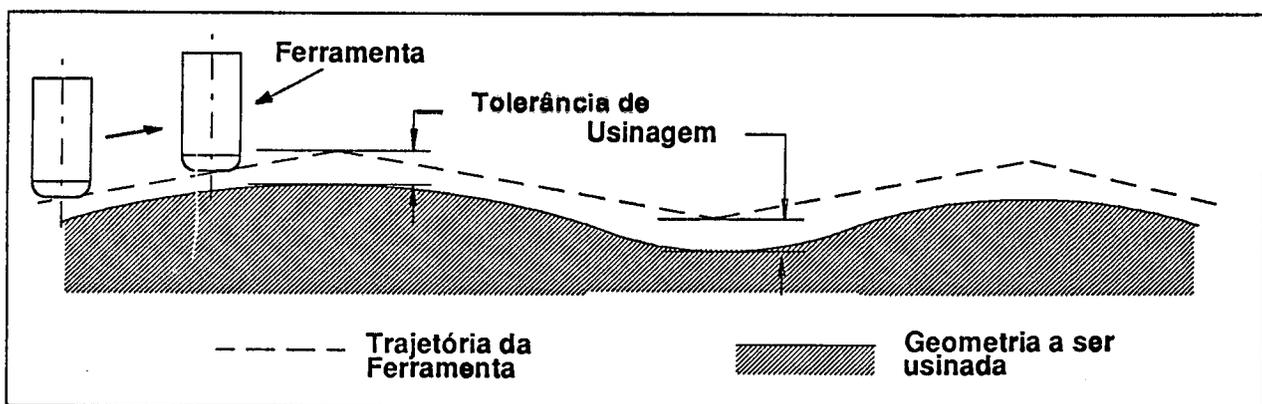


Figura A.52 - Representação da tolerância de usinagem para o cálculo de trajetórias de ferramentas, em sistemas CAM .

- Valor máximo admissível para a altura das sobras de material que se formam, entre dois passes adjacentes, em função da forma geométrica da ponta da ferramenta de corte, conforme ilustrado na **Figura A.53**, denominado de "**cusp tolerance**". Com base neste valor e no diâmetro da ferramenta de corte, o sistema pode calcular a distância a ser assumida, para cada dois passes adjacentes, de modo que o valor da altura máxima da sobra de material não seja ultrapassado. Outra possibilidade é fornecer o valor para a distância entre passes desejada pelo usuário, de modo que, o valor referente à tolerância passa a ser uma consequência geométrica do processo de usinagem.
- Valor que especifica que o posicionamento das ferramentas de corte ocorra sempre a uma distância equidistante da superfície a ser usinada, conforme ilustrado na **Figura A.54**, denominado em alguns sistemas de "**thick**". Mediante a especificação de um valor positivo, terminada a operação de usinagem, resulta sobre toda a geometria um excesso de material. Assim, em operações de desbaste ou semi-acabamento, é possível deixar um valor para o sobre-metal a ser retirado em uma operação posterior de acabamento. Através da especificação de um valor negativo, a espessura equidistante das superfícies, que delimitam a geometria a ser usinada, possibilitará a remoção de uma quantidade de material adicional aos contornos da peça, que é o caso utilizado para compensar a altura da fenda de trabalho, do processo de eletroerosão, na usinagem de eletrodos ou usinar a geometria de machos, de cavidades de peças com espessura

constante, tendo como modelo as superfícies que descrevem a geometria da fêmea.

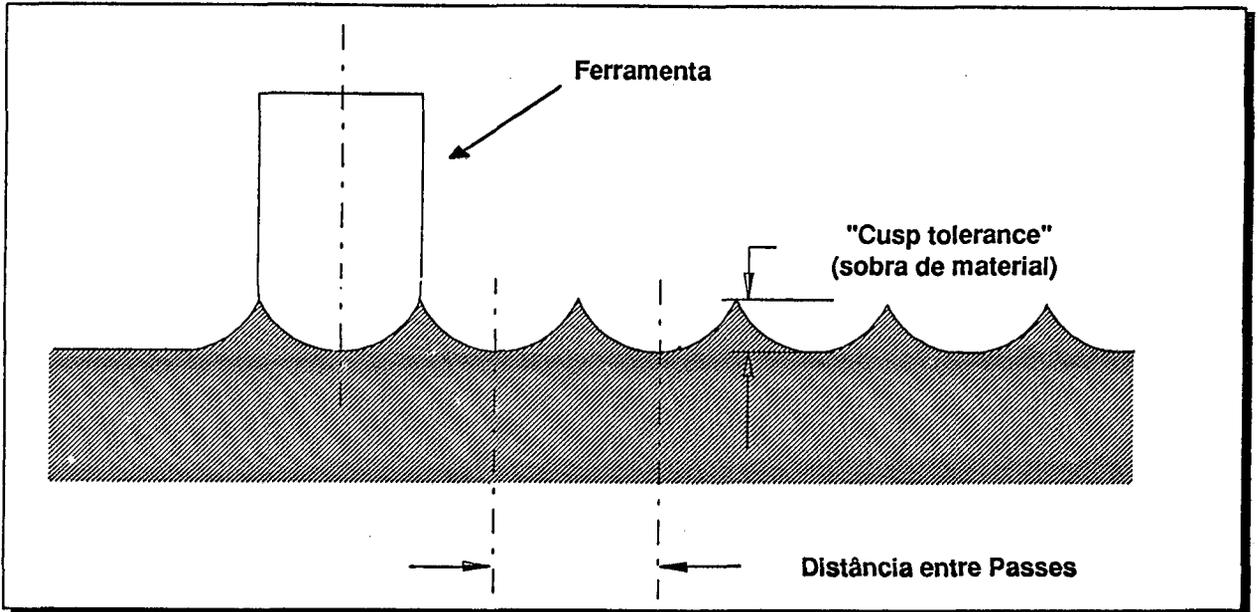


Figura A.53 - Representação da sobra de material ("cusp tolerance") e da distância entre passes, para o cálculo de trajetórias de ferramentas, em sistemas CAM.

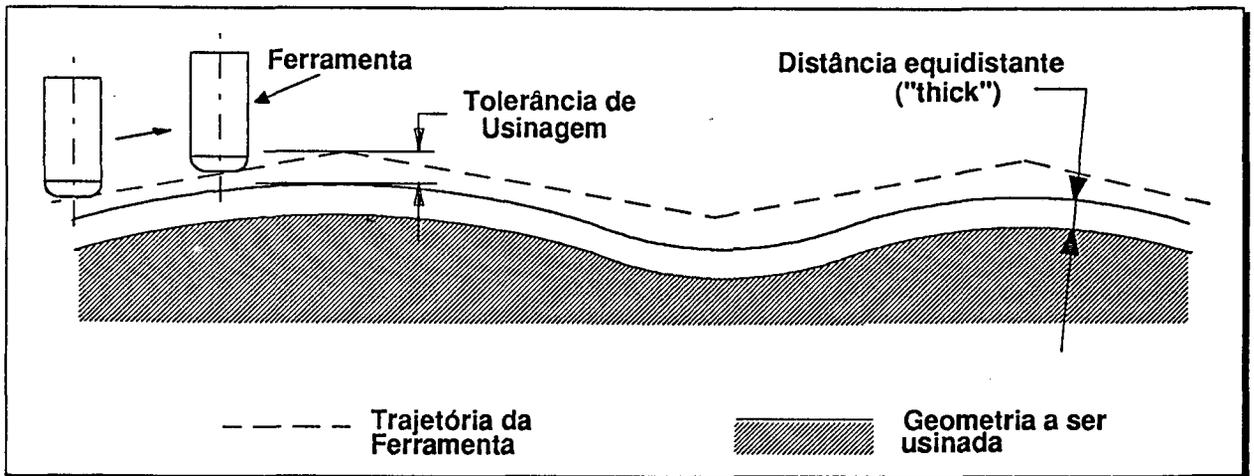


Figura A.54 - Representação da distância equidistante ("thick") para o cálculo de trajetórias de ferramentas, em sistemas CAM.

A realização do fornecimento das informações, referentes ao planejamento do processo de usinagem, se constitui em uma tarefa de preparação dos programas NC. Convém salientar que o processo é bastante interativo exigindo, do usuário, atenção e experiência em tecnologia de usinagem, para que a escolha de ferramentas, condições de corte (rotação, avanço e/ou velocidades de corte, profundidades de corte) e seqüências de operações de usinagem (especificação de estratégias de desbaste e acabamento) sejam as mais adequadas. Alguns sistemas apresentam um módulo específico, para a realização desta etapa, apresentando uma lista ou máscara, na tela do computador, a ser preenchida pelo usuário, com as informações necessárias para realizar o processo de usinagem, conforme ilustrado no exemplo da **Figura A.55**.

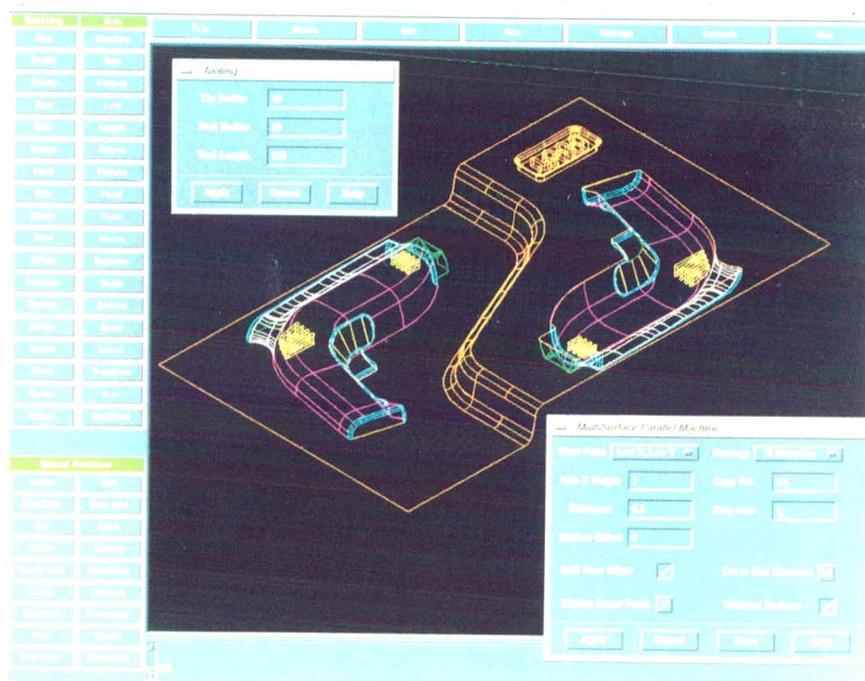


Figura A.55 - Exemplo de uma máscara a ser preenchida com informações a respeito do planejamento do processo de usinagem, em sistemas CAM.

Em função de sua interface mais amigável, esta forma de introdução das informações relacionadas ao planejamento do processo de usinagem é tida como uma característica desejável em sistemas voltados a atender o setor de moldes de injeção [15].

Simulação das trajetórias

A simulação gráfica das trajetórias de usinagem, geradas pelo sistema, tem por objetivo verificar a ocorrência de possíveis erros causados pela introdução de informações inadequadas, por parte do usuário, na etapa anterior.

Conforme mencionado na Parte 2, a visualização das trajetórias de usinagem, em módulos de simulação de sistemas CAM, pode ser do tipo "wireframe" (ver Figura A.28) ou em sólido com recursos de "shading" (ver Figura A.29).

Para o setor de moldes de injeção, principalmente no caso de cavidades constituídas por diversos detalhes em sua geometria, uma simulação representada em "wireframe" pode gerar dúvidas de interpretação. Em função dos custos elevados envolvidos na fabricação de cavidades para moldes, qualquer erro, transferido para os programas NC, pode comprometer significativamente os custos globais em função de atrasos no cumprimento de prazos de entrega. Assim, sistemas que oferecem somente recursos do tipo "wireframe" não são os mais adequados para atender as necessidades de simulação de programas para o setor de moldes de injeção [12, 15].

Os sistemas CAM, voltados para atender as necessidades deste setor, devem apresentar recursos que tornem o trabalho do usuário o mais flexível possível.

Neste sentido, além da possibilidade de visualizar a ferramenta de corte durante o processo de simulação, um aspecto importante é a preparação da geometria da peça bruta, bem como a possibilidade de especificar diferentes dispositivos de fixação, para que a simulação possa ser representada da forma mais real possível [108, 109]. Alguns sistemas voltados para a área de moldes possibilitam que o usuário defina, mediante um modelamento em sólido, as dimensões de um bloco, envolvendo as superfícies a serem usinadas, que servirá de referência para os cálculos e posterior visualização das trajetórias das ferramentas. Contudo, é desejável que os sistemas ofereçam uma maior flexibilidade quanto à definição da geometria da peça bruta, principalmente, possibilidades de fazer a simulação a partir de blocos pré-desbastados, em função desta ser uma característica típica de trabalho do setor de moldes, que vem crescendo cada vez mais, através do crescente número de pequenas empresas, especialmente voltadas a realização de operações de desbaste [12, 15].

Outro aspecto importante diz respeito a recursos que facilitem a identificação de regiões da peça/cavidade que, por algum motivo, apresentam usinagens inadequadas, tais como, avanços muito rápidos e retirada de material em regiões não desejadas. Assim, recursos que possibilitem ao usuário identificar colisões da ferramenta contra, por exemplo, dispositivos de fixação ou regiões/superfícies da peça, são

considerados como de grande interesse pelo o setor [15]. A Figura A.56 mostra um exemplo de um módulo de simulação de programas NC que apresenta, em cores diferentes, para fácil identificação, regiões com problemas de usinagem.

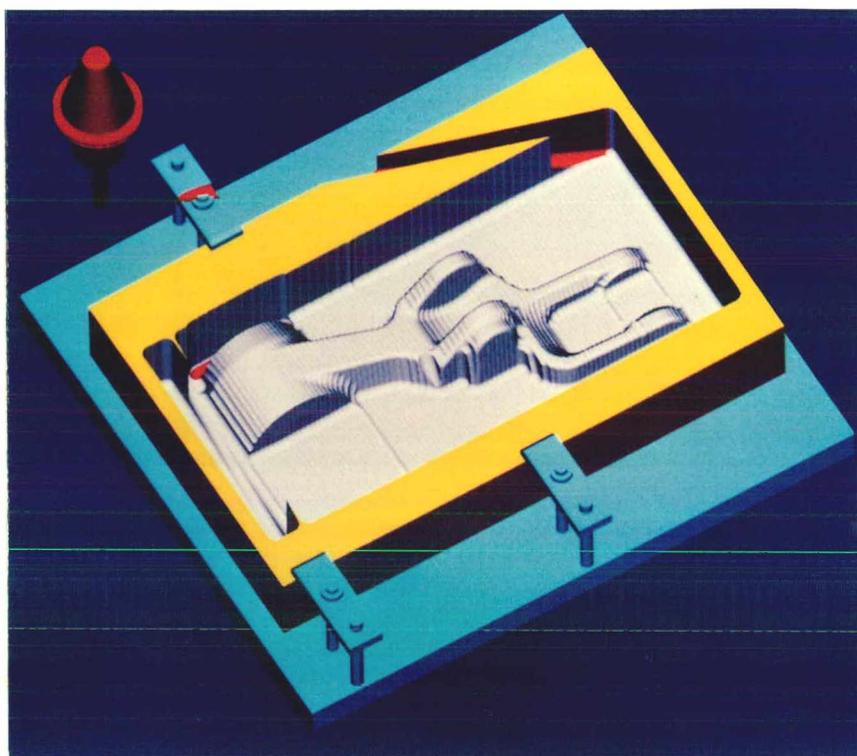


Figura A.56 - Exemplo de um módulo para simulação gráfica de trajetórias de ferramentas, com recursos de "shading" e identificação de erros de usinagem [110].

Outra característica bastante solicitada por empresas de moldes usuárias de sistemas CAx, que vai de encontro à necessidade de sistemas com maior flexibilidade operacional, é a possibilidade de manipular individualmente qualquer trajetória, de um dado conjunto de trajetórias de ferramentas, após estas já terem sido simuladas. Da mesma forma, permitir que trajetórias de usinagem possam ser segmentadas, através de

comandos do tipo "trimming", conforme ilustrado na **Figura A.57**, para gerar programas NC somente em uma dada região de interesse, ou ainda, definir a região a ser simulada, com a intenção de verificar a usinagem da peça/cavidade somente em uma dada parte de interesse [15].

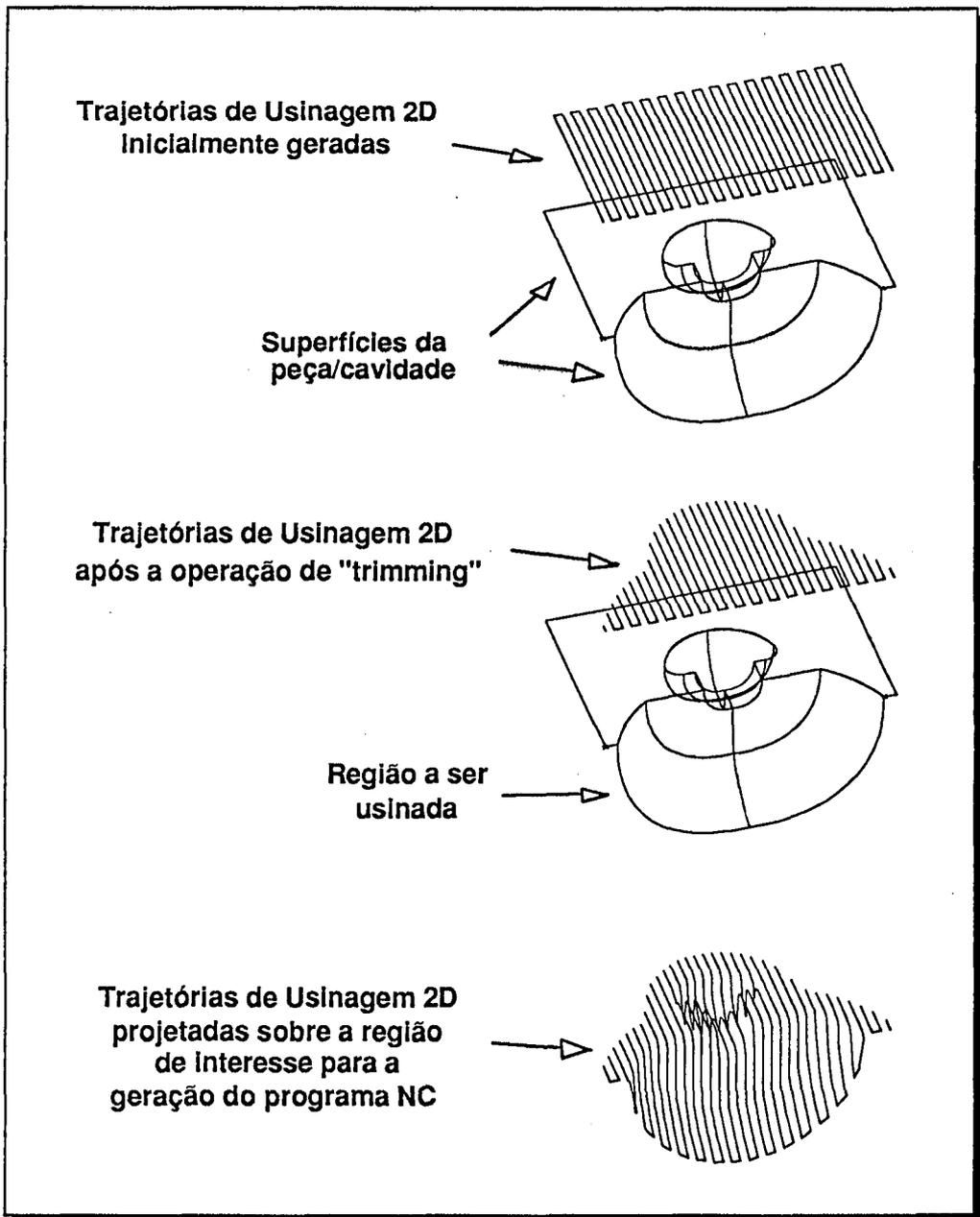


Figura A.57 - Exemplo representativo de recursos de "trimming", aplicados em trajetórias de usinagem.

Contudo, devido a grande diversidade de sistemas CAx existentes no mercado e de recursos por eles oferecidos convém lembrar que todas estas características de simulação também devem ser detalhadamente testadas, no instante da escolha do sistema, nos chamados testes de Benchmark, conforme já citado, no item A.3.2, da Parte 3 deste manual.

Pós-processamento para a geração do programa NC

Em termos de módulos de pós-processamento das informações que descrevem as características de usinagem da cavidade, convém citar que, normalmente, estes são fornecidos somente com os códigos básicos estipulados pela norma DIN 66025 ou ISO 6983 [15]. Assim, códigos específicos à cada controle da máquina-ferramenta, que encurtariam os programas NC, só são fornecidos a partir de propostas específicas de desenvolvimento de pós-processadores, tornando o sistema mais caro. Neste sentido, alguns pesquisadores recomendam que sistemas CAM, voltados para o setor de moldes, ofereçam módulos geradores de pós-processadores, para que estes possam ser adaptados, pelo usuário, para diversos controles, aumentando a flexibilidade da empresa, caso deseje adquirir novos controles ou mesmo para que a empresa possa prestar serviços de pós-processamento para terceiros, ampliando seus horizontes de trabalho, dentro do mercado de terceirização a que pertencem [15, 111].

Transferência dos programas para o controle da máquina-ferramenta (módulo DNC)

Basicamente, a transferência de programas NC para os controles das máquinas-ferramenta pode se dar de 3 formas, ou seja, através de fitas de papel perfurado, via disquetes ou através da conexão direta, do sistema CAM com o controle da máquina-ferramenta, via cabo, sendo as informações, que descrevem a usinagem, gerenciadas e transferidas por um sistema DNC (Distributed Numerical Control).

A experiência tem mostrado que, normalmente, os programas NC para a área de moldes, especialmente para a usinagem de cavidades, são bastante extensos [12, 15]. Desta forma, o emprego de um módulo DNC é tido como bastante recomendado.

A.4.5. Integração: problemática das interfaces neutras

Devido ao mercado de terceirização, em que se encontram as empresas de moldes de injeção, uma das necessidades mais importantes, em termos de emprego de sistemas CAx neste setor, diz respeito à flexibilidade e rapidez desejada na comunicação entre sistemas de empresas contratantes e prestadoras de serviços. Devido às crescentes pressões, no sentido de reduzir os prazos de entrega dos moldes, as necessidades dizem respeito também ao processo interno de transferência de informações entre sistemas diferentes, que

possam estar sendo utilizados, nos diversos departamentos da empresa de moldes.

Conforme citado no item A.2.4 (Parte 2), o emprego eficiente de interfaces neutras, para comunicação entre diferentes sistemas CAx, é fundamental pois reduz tempos de remodelamento das geometrias nas diversas fases do processo de desenvolvimento e criação dos moldes. Contudo, o emprego das referidas interfaces (ainda) não ocorre de maneira satisfatória, apesar da existência de inúmeras normas, especificações e esforços a nível mundial (ver Figura A.31, na Parte 2). Não raro, após a transferência dos arquivos, contendo as informações de geometria das peças a serem produzidas, o modelo importado apresenta inconsistências e/ou perda de informações [15, 85, 86, 90, 129].

A exemplo da transferência entre um sistema CAD, de uma empresa contratante, e um sistema CAD/CAM, de uma empresa prestadora de serviços, a **Figura A.58** mostra alguns dos problemas típicos que podem ocorrer durante o processo de troca de informações [85, 86, 92]. O modelo pós-processado, importado pelo sistema CAD/CAM, pode apresentar inconsistências de geometria, causadas por um modelamento inadequado no sistema CAD, da empresa contratante. Um exemplo típico é a má definição de pontos de intersecção entre elementos que definem cantos do modelo. Para a programação NC, que necessita, do ponto de vista matemático, de uma descrição exata da geometria que descreve as trajetórias de usinagem, tais problemas causam dúvidas de interpretação por parte dos programas que processam as informações para gerar o programa NC.

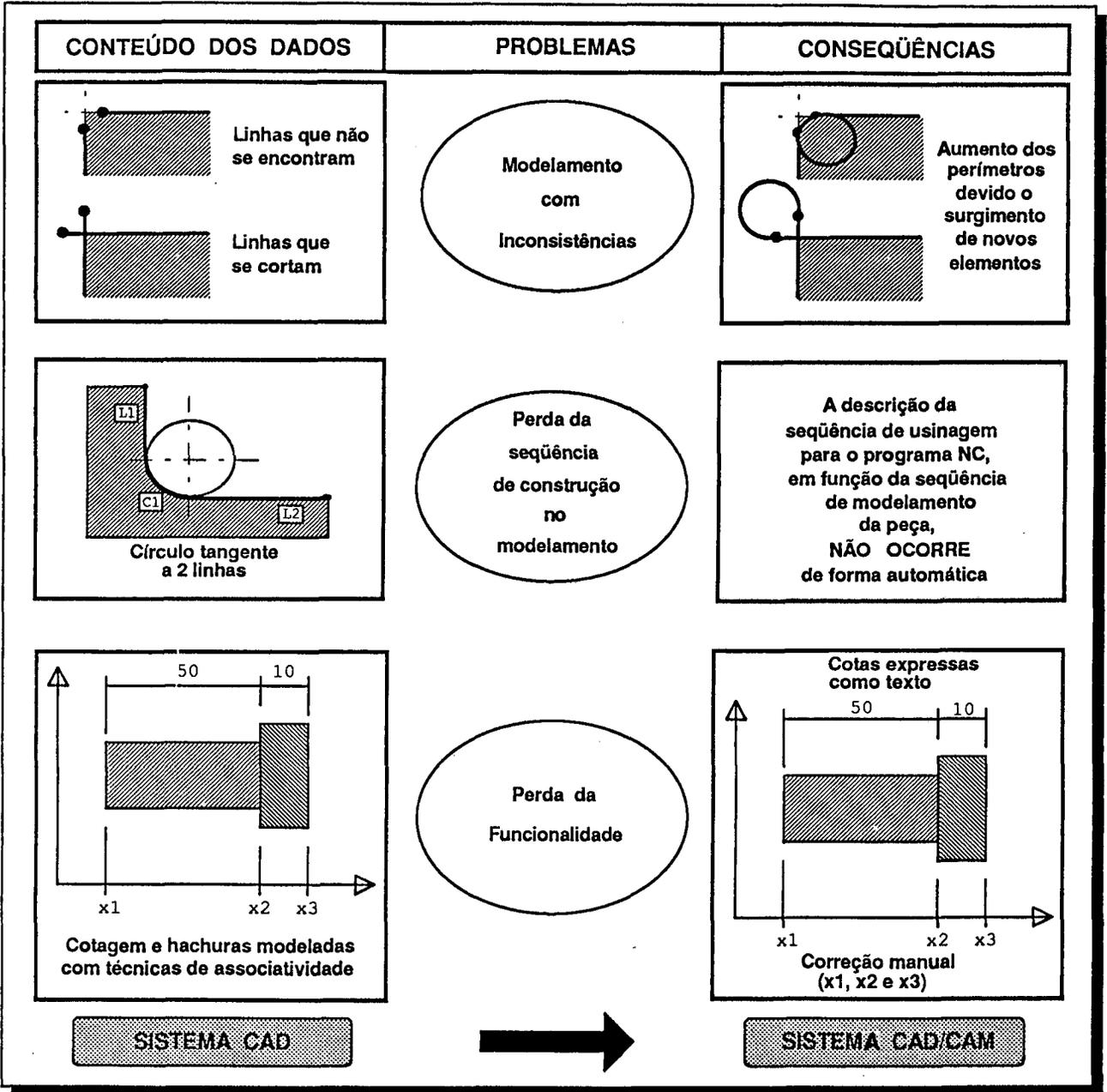


Figura A.58 - Exemplos de problemas típicos que podem ocorrer na transferência de informações geométricas entre sistemas CAx, através do emprego de interfaces neutras.

Outro problema que pode ocorrer diz respeito ao fato do modelo importado pelo CAD/CAM, da empresa prestadora de

serviços, não mais apresentar a informação da correlação de construção entre elementos adjacentes. Em outras palavras, para usinar, por exemplo, uma seqüência de um perfil (contorno) composto de diferentes elementos, após a transferência para o CAD/CAM, o programador NC necessita identificar cada elemento pertencente ao contorno, para caracterizar a seqüência de usinagem desejada, uma vez que o contorno não mais é reconhecido como um grupo de elementos unidos sequencialmente, mas sim como elementos individuais. O resultado é um acréscimo indesejado de tarefas de modelamento, que devem ser feitas pelo programador NC.

Além disso, facilidades de modelamento empregadas no sistema CAD, da empresa contratante, após a transferência podem perder a funcionalidade. Em outras palavras, caso no modelamento o projetista tenha empregado a técnica da associatividade (ver Figura A.37, Parte 3), após a transferência, alterações em geometrias do modelo importado, que se fizerem necessárias, não implicarão em correções automáticas nos novos valores das respectivas cotas.

Adicionalmente, na transferência de superfícies do tipo "free form", pode ocorrer que o volume de dados, após a realização da transferência, seja maior, gerando arquivos mais extensos. Isto se deve ao fato de que as curvas inicialmente modeladas no sistema CAD, após a transferência, deixam de existir, e o modelo é transformado em uma rede de pontos no espaço, unidos por segmentos de reta [15, 92]. Assim, grande parte do trabalho de modelamento das superfícies, realizado

inicialmente no CAD, da empresa contratante, terá de ser repetido no CAD/CAM, da empresa prestadora de serviços.

A experiência tem mostrado que os problemas de transferência de informações de modelos, entre sistemas CAx, podem ter duas origens principais. Por um lado, os pré e pós-processadores, fornecidos em alguns sistemas CAx, podem não ter sido devidamente elaborados, por parte dos desenvolvedores/fornecedores dos sistemas envolvidos na transferência, o que exige a devida atenção, por parte das empresas de moldes, no instante da seleção do sistema, particularmente, nos critérios adotados para a realização de testes de Benchmark. Por outro lado, muitos dos problemas que ocorrem são originados na etapa de modelamento da peça e podem ser resolvidos através da adoção de medidas organizacionais, que assegurem um modelamento correto para uma posterior transferência das informações, como é o caso da adoção de uma estreita cooperação entre profissionais das empresas envolvidas (clientes e fabricante de moldes) e/ou dos diferentes departamentos de uma mesma empresa [85].

Em função dos problemas que ainda podem ocorrer, com relação ao emprego das interfaces neutras, a integração entre os sistemas CAx da empresa produtora de peças de plástico e da empresa de moldes pode ser realizada conforme a sequência apresentada na **Figura A.59**.

Contudo algumas considerações devem ser feitas quanto a:

- Modelamento dos dados, ou seja, elaboração de desenhos técnicos contendo todas as informações que definem a peça de plástico a ser produzida. Esta etapa é realizada por um projetista em um sistema CAD (ou CAD/CAM integrado) da empresa que injeta produtos de plástico (por exemplo, a indústria automobilística).

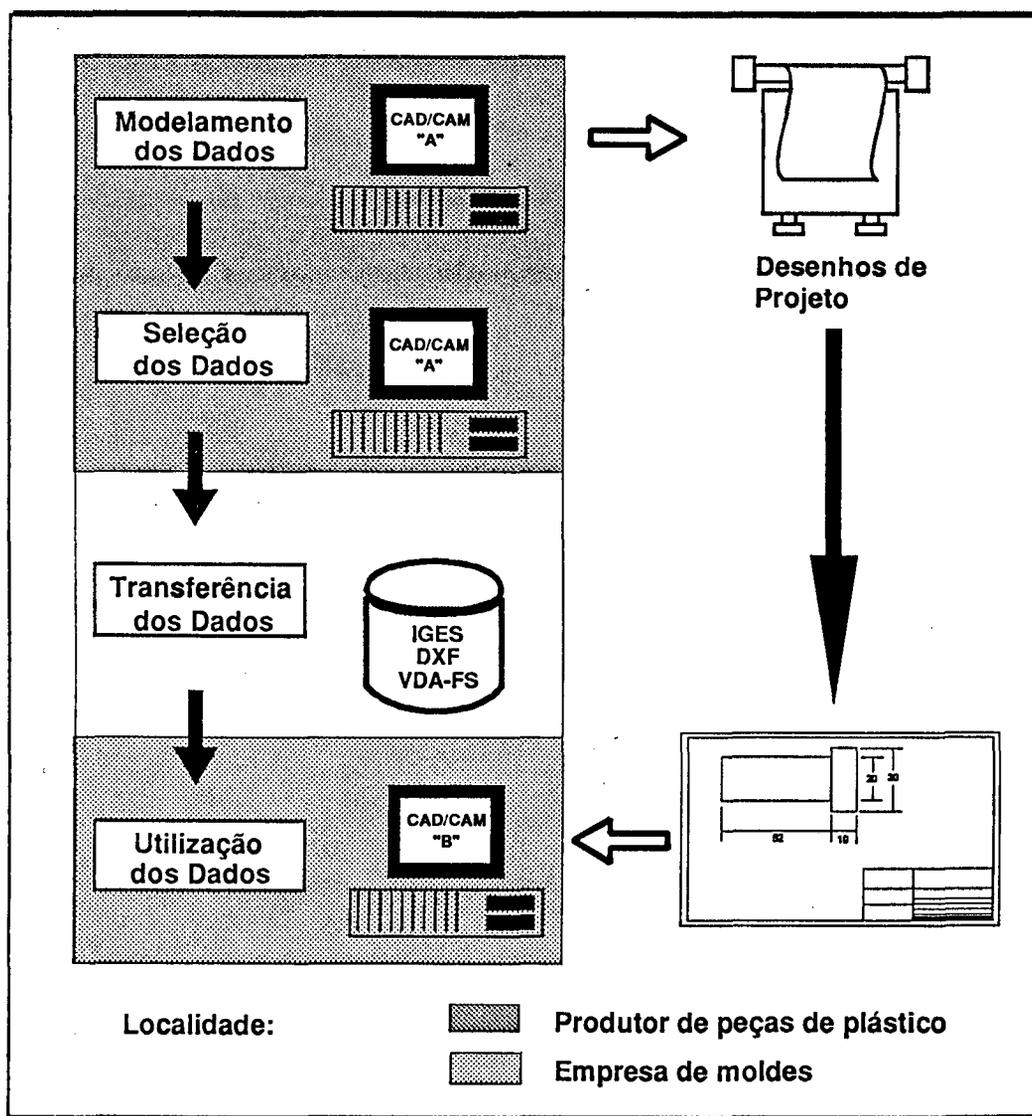


Figura A.59 - Etapas do processo de transferência de informações de modelamento entre sistemas CAx, na indústria de moldes de injeção.

- Seleção dos dados. Esta etapa consiste em selecionar as geometrias consideradas relevantes para o modelamento do molde e posterior elaboração do programa NC. A seleção abrange a eliminação de cotas, textos e símbolos (no caso de usinagem 2½D) e de geometrias irrelevantes para a fabricação da cavidade (no caso 3D e 2½D) devendo, portanto, ser de responsabilidade de um profissional com experiência na fabricação de moldes. Para tanto, é preciso que haja uma integração entre as empresas envolvidas, principalmente no caso em que no departamento de projetos da empresa que desenvolveu a peça de plástico, não existir pessoal especializado na fabricação de moldes e portanto, sem conhecimentos que facilitariam a seleção das geometrias mais relevantes.

- Transferência dos dados, significa realizar o pós-processamento das informações sobre as geometrias selecionadas para um formato neutro adequado que seja oferecido por ambos os sistemas CAx (IGES, VDA-FS, etc).

- Utilização dos dados, ou seja, realizar o pré-processamento, dos dados importados, para o formato do sistema CAD/CAM utilizado na empresa de moldes, onde os programas NC serão gerados. Cabe ressaltar que, no caso 3D, mesmo após a importação das informações de geometria da peça de plástico, é preciso que a geometria seja remodelada para a fabricação, considerando todas as características intrínsecas da geração de cavidades para moldes de injeção, citadas anteriormente. Adicionalmente, para evitar dúvidas de interpretação e

verificar cotas e dimensões da peça modelada no CAD, que serão de utilidade para a geração de geometrias adicionais necessárias para a usinagem, é recomendável que, além do modelo importado via interface neutra, o processista e/ou programador NC tenha acesso aos desenhos técnicos da peça de plástico.

Parte 5

Características de um sistema CAx típico para a área de moldes de injeção

A.5.1. Considerações iniciais

A área de plásticos e, conseqüentemente, a de moldes de injeção, tem tido um crescimento considerável, nestes últimos anos. O interesse, por parte dos fornecedores de sistemas CAx, em entrar neste mercado promissor é bastante grande, de modo que a oferta de sistemas para estas áreas tende a crescer, dificultando ainda mais a escolha do sistema que melhor se adapte aos interesses particulares da empresa de moldes.

Conforme já mencionado na Parte 3, a escolha de um sistema CAx depende das necessidades específicas de cada empresa, principalmente, dos tipos de moldes que são produzidos, em função da complexidade geométrica das peças a serem injetadas.

Entretanto, com base no que foi descrito nas Partes 2, 3 e 4, de uma maneira geral, os **requisitos que são desejáveis** em um sistema CAx para a área de moldes de injeção para produtos de plástico, podem ser resumidos em dois aspectos fundamentais [15, 61]:

I. A comunicação do sistema com o usuário deve ocorrer através de uma interface "amigável"

O sistema deve apresentar recursos de manipulação, que facilitem a operação do mesmo, por parte do usuário, permitindo uma aprendizagem mais rápida. Este é um fator muito importante para sistemas CAx voltados para a área de moldes, uma vez que, normalmente, os profissionais deste setor dispõem de poucos ou nenhum conhecimento de informática [15, 61]. Isto se deve ao fato de que os centros de formação profissional para a área, principalmente os nacionais, via de regra, ainda não oferecem um número suficiente de cursos, dedicados especificamente ao emprego de tecnologias CAx, capaz de atender a demanda [59, 112].

Assim, é desejável que o sistema apresente recursos do tipo "Icons"⁵ (ícones), conforme ilustrado no exemplo da **Figura A.60**, que permitam uma compreensão mais fácil das funções a serem executadas pelo sistema, a partir de uma identificação visual dos símbolos que as representem. Preferencialmente, informações em forma de texto devem ser apresentadas no idioma do país em que o software é comercializado e através de um linguajar típico empregado pelo setor de moldes.

Outra característica desejável é que o sistema ofereça facilidades de apoio ao treinamento nos respectivos módulos CAE, CAD e CAM, como por exemplo, o emprego de funções "help" e programas específicos auto-orientativos, que facilitem

⁵ "Icons" são símbolos representativos de comandos ou funções a serem executados por programas disponíveis em sistemas CAx [61].

ao usuário a compreensão a respeito da maneira mais adequada de operar o sistema, para mais rapidamente obter deste a eficiência desejada.

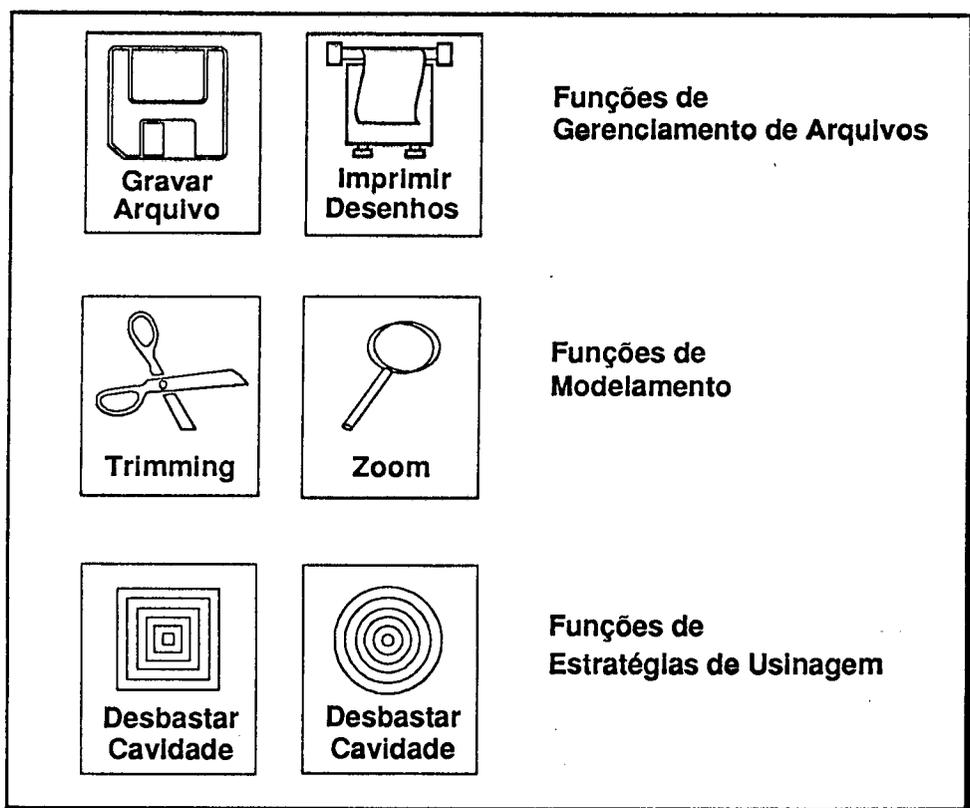


Figura A.60 - Exemplos de "Ícons", empregados em sistemas CAx, para representar funções de manipulação de arquivos, modelamento e estratégias de usinagem.

Adicionalmente, a execução das operações no sistema (por exemplo, a criação de uma superfície do tipo "fillet" em atividades de modelamento da cavidade) deve ser realizada a partir de um número mínimo possível de intervenções e introdução de informações, por parte do usuário. Quanto menor for o número de informações que o usuário precisar fornecer ao

sistema para que o objetivo de uma operação seja alcançado, tanto melhor e mais confortável será o sistema CAx.

II. O sistema deve apresentar características de **flexibilidade**

Ou seja, deve possibilitar que a empresa adquira os módulos de acordo com a sua estratégia de implantação da tecnologia, a fim de que possa realizar a introdução e futuras expansões do sistema, passo a passo, conforme a sua necessidade. O sistema deve assegurar a fácil integração entre os diversos módulos e ser suficientemente flexível no sentido de:

- Possibilitar a comunicação com outros sistemas, principalmente os existentes nas empresas de seus clientes, através de interfaces neutras padronizadas e/ou específicas;
- Atender diversas tecnologias e processos de fabricação típicas da área de moldes (por exemplo: torneamento, furação, fresamento, eletroerosão à fio);
- Não depender de configuração específica de um dado hardware ou equipamento;
- Possibilitar a customização do software, para informatizar a chamada "cultura da empresa", representativa da experiência alcançada pela mesma.

A.5.2. Módulos básicos e respectivas características

A Figura A.61 apresenta o interrelacionamento existente entre os módulos básicos CAx, que atuam durante as fases de concepção, projeto e fabricação de moldes de injeção, mostrando a finalidade principal de cada módulo e sua influência na elaboração dos elementos básicos que compõem a ferramenta de injeção.

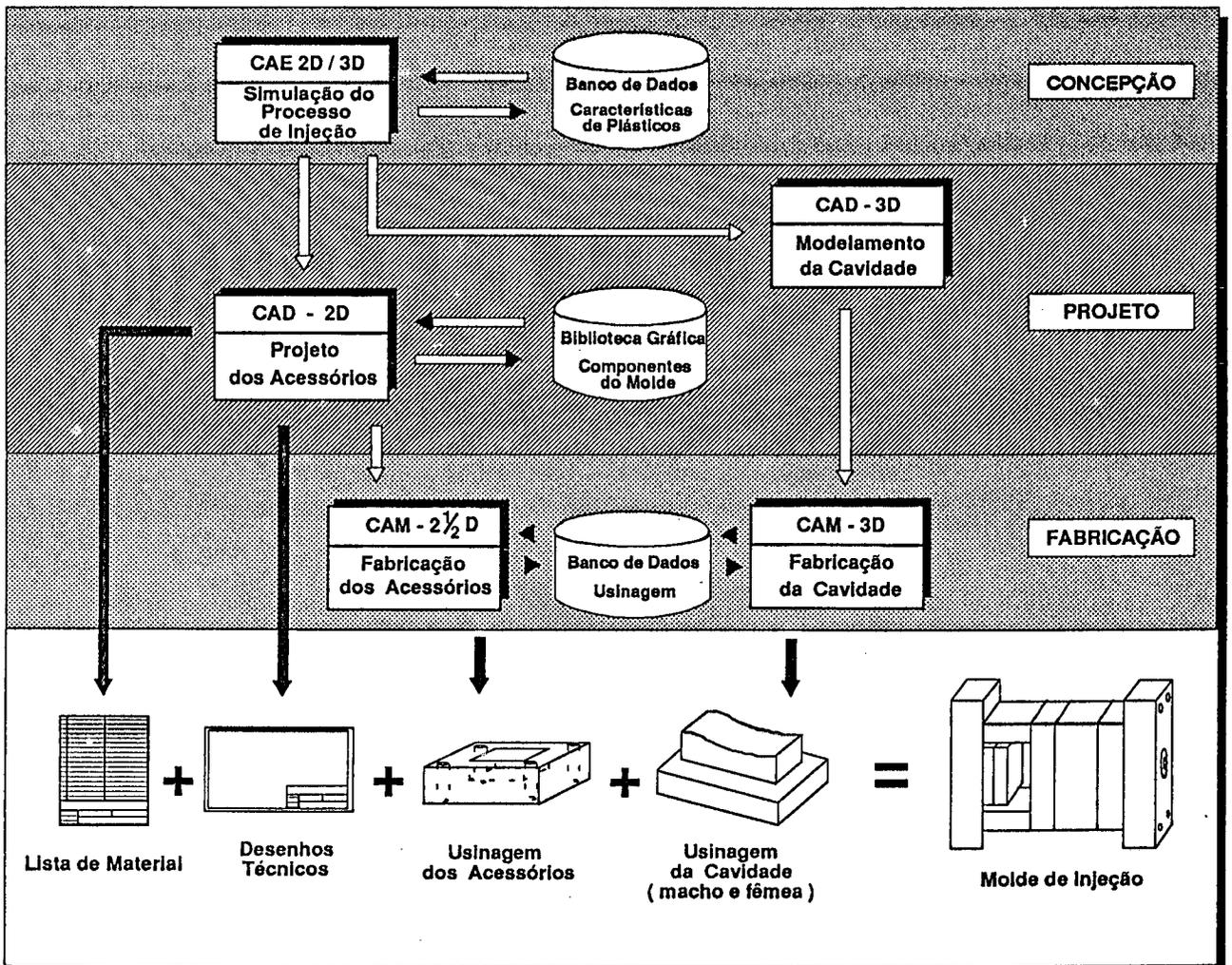


Figura A.61 - Visão geral dos principais módulos CAx necessários para uma produção de moldes de injeção via sistemas CAE, CAD e CAM.

Em linhas gerais, as principais características que devem estar presentes em cada módulo CAx, voltado a cobrir as atividades do setor de moldes de injeção, podem ser resumidas através da seguinte configuração básica:

Módulo CAE 2D/3D

Descrição: Conjunto de programas de análise 2D e 3D para o caso de moldes que apresentam cavidades com formas geométricas simples e complexas, respectivamente.

Objetivo: Realização de análises reológica, térmica e mecânica do molde.

Características:

- Recursos de modelamento que facilitem a manipulação de geometrias, como por exemplo: espelhamento, rotação, translação, cópia, "trimming", etc;
- Facilidades de apresentação e manipulação dos resultados simulados, tais como, visualização dinâmica e representada em "shading", função "zoom", função janela, etc;
- Interfaces para acessar diferentes Bancos de Dados de Materiais de Plástico (ver Tabela V, Parte 4);
- Módulo de geração automática de malhas, com facilidades para alterar regiões que apresentem malhas inadequadas;

- Possibilidade de importar geometrias modeladas em sistemas CAD-3D, via interfaces neutras padronizadas (IGES, VDA-FS, DXF, ISO/STEP, etc);
- Interfaces para impressoras coloridas, para a documentação dos resultados gráficos apresentados na tela.

Módulo CAD-2D

Descrição: Modelador de geometrias 2D.

Objetivo: Geração de desenhos técnicos para o projeto de componentes/acessórios do molde, cavidades (macho e fêmea) ou eletrodos de geometria simples 2D e demais desenhos técnicos que se fizerem necessários. Adicionalmente, elaboração de modelamentos 2D para a usinagem de placas de moldes, rebaixos para encaixe de postigos e cavidades e/ou eletrodos que apresentam formas geométricas simples.

Características:

- Modelamento 2D com amplos recursos para definir elementos geométricos planares (ver Parte 1) e facilitar a sua manipulação (técnicas de espelhamento, rotação, translação, cópia, "trimming", etc);

- Módulo gerenciador de arquivos de desenhos de projeto técnico para facilitar a identificação e posterior recuperação de desenhos;
- Facilidades de visualização do modelo na tela, tais como, função "zoom", função janela, representação em diferentes vistas e perspectivas, etc;
- Opção de empregar, no modelamento, técnicas de parametrização e associatividade (ver Figuras A.37 e A.38), através da disponibilidade de uma linguagem de programação paramétrica, para o desenvolvimento de aplicativos de interesse próprio da empresa, a serem desenvolvidos pelo usuário;
- Diferentes interfaces padronizadas (IGES, VDA-IS, DXF, ISO/STEP, etc) para possibilitar a importação de dados de sistemas CAD de clientes e a exportação para sistemas CAM-2½D (no caso de sistemas diferentes);
- Interface de acesso a bibliotecas gráficas de acessórios padronizados para o projeto de moldes (DME, HASCO, EOC, etc) com respectiva geração automática de listas de materiais ("Bill of Materials");
- Interface de acesso a bibliotecas gráficas de elementos normalizados (parafusos, roscas, anéis de vedação, etc), segundo normas ANSI, DIN, ABNT, ISO e outras, para facilitar na elaboração de desenhos técnicos;
- Interface gráfica para plotter tamanho A0, para a impressão de desenhos técnicos.

Módulo CAM-2½D

Descrição: Geração de programas NC para processos de fresamento, furação e torneamento em máquinas-ferramenta de até 3 eixos de usinagem, a partir de geometrias simples 2D.

Objetivo: Elaboração de programas NC para o fresamento de placas e blocos, rebaixos para encaixe de postigos, cavidades e eletrodos que apresentam formas geométricas simples, bem como usinagem de peças em operações de furação e torneamento.

Características:

- Diferentes interfaces padronizadas (IGES, VDA-IS, DXF, ISO/STEP, etc) para possibilitar a importação de dados de módulos CAD-2D (no caso de sistemas diferentes);
- Módulo para elaboração de planos de processos, para operações de torneamento, furação e fresamento 2D a 2½ D, apresentando uma interface homem-máquina com "layout" único de apresentação na tela ;
- Interface de acesso a Bancos de Dados de Usinagem, com informações sobre geometrias de ferramentas, materiais e condições de usinagem (velocidades de corte, avanços, etc) para aços e materiais comumente usados pela indústria de moldes para o setor de plásticos (por exemplo: aços P20, H13, etc);

- Programas com recursos de geração e simulação automática das trajetórias de usinagem, contendo estratégias de desbaste, para processos de fresamento de cavidades planas (contornos fechados com ou sem "ilhas");
- Geração automática de programas NC, para os controles das máquinas-ferramenta disponíveis na empresa;
- Módulo gerador de pós-processadores, para facilitar adaptações por parte do usuário ou mesmo ampliar os serviços prestados para terceiros, através da elaboração de programas NC para controles diferentes dos utilizados pela empresa;
- Módulo DNC para a transferência e gerenciamento de programas NC para os controles das máquinas-ferramenta.

Módulo CAD-3D

Descrição: Modelador de geometrias 3D.

Objetivo: Modelamento de geometrias 3D com formas geométricas complexas, para servir de modelo para as etapas de análise reológica (fase de concepção do molde) e de usinagem (fase de fabricação do molde).

Características:

- Modelamento 3D com amplos recursos para definir qualquer tipo de superfície, inclusive do tipo "freeform", e facilitar a sua manipulação;
- Além dos recursos normais de modelamento de superfícies oferecidos por sistemas CAD-3D (ver Parte 1), devem existir recursos de modelamento especiais, para facilitar, por exemplo, considerações de ângulos de saída, percentuais de contração do plástico, posicionamento da superfície de separação do molde e outros;
- Módulo gerenciador de arquivos para facilitar a identificação e posterior recuperação de desenhos;
- Facilidades de visualização do modelo na tela, com a possibilidade de representar, em "shading", somente partes do modelo de superfícies da peça/cavidade;
- Diferentes interfaces padronizadas (IGES, VDA-FS, DXF, ISO/STEP, etc) e/ou específicas (FORD, GM, etc) para possibilitar a importação de dados de sistemas CAD de clientes, exportação para sistemas CAM-3D (no caso de sistemas diferentes) e/ou exportação para sistemas CAE;

Módulo CAM-3D

Descrição: Geração de programas NC para processos de fresamento e de eletroerosão a fio, a partir de geometrias complexas 3D.

Objetivo: Elaboração de programas NC para operações de fresamento e eletroerosão de cavidades e/ou eletrodos com formas geométricas complexas 3D.

Características:

- Diferentes interfaces padronizadas (IGES, DXF, VDA-IS, etc) e/ou específicas (FORD, GM, etc) para possibilitar a importação de dados de geometria, principalmente a partir de modelamentos de superfícies geradas em módulos CAD-3D (no caso de sistemas diferentes);
- Módulo para elaboração de planos de processo para operações de fresamento simultâneo em 3 eixos de usinagem e eletro-erosão a fio, em máquinas de 4 eixos;
- Interface de acesso a Bancos de Dados de Usinagem, com informações sobre geometrias de ferramentas, material e condições de usinagem (velocidades de corte, avanços, etc) para aços e materiais comumente usados pela indústria de moldes para o setor de plásticos (por exemplo: aços P20, H13, etc);
- Programas de geração e simulação automática de trajetórias de usinagem, para operações de fresamento, a partir de estratégias de desbaste, semi-acabamento e acabamento, com recursos de "shading" em sólido (3D), e recursos especiais para a realização de controle de colisões. Adicionalmente, flexibilidade para o usuário definir, e/ou selecionar

- de uma biblioteca gráfica, diferentes formas para a geometria da peça bruta, para agilizar a elaboração de programas em operações de semi-acabamento, a partir de geometrias pré-desbastadas;
- Editor de trajetórias de usinagem com amplos recursos para possibilitar maior flexibilidade na definição de áreas de usinagem e manipulação, individualizada ou em grupo, de trajetórias de usinagem, através de operações típicas de modelamento (por exemplo: "trimming", translação, rotação, cópia, espelhamento, etc);
 - Geração automática de programas NC, para os controles das máquinas-ferramenta disponíveis na empresa;
 - Módulo DNC para o gerenciamento e transferência de programas NC para os controles das máquinas-ferramenta.

A.5.3. Módulos ou programas adicionais

Além das características básicas apresentadas no item anterior, módulos especiais oferecidos em alguns sistemas CAx (para tecnologias como digitalização de modelos físicos, fresamento simultâneo nos 5 eixos de usinagem, medição em máquinas de medir por coordenadas e processos de prototipagem rápida de modelos) são considerados de bastante interesse para empresas do setor de moldes de injeção, merecendo as seguintes considerações:

Digitalização de modelos físicos

A tecnologia de digitalização pode trazer vantagens para o setor de moldes de injeção, devido ao fato deste ainda empregar, com bastante frequência, modelos físicos, como ponto de partida para o projeto dos moldes [18, 35, 113]. Além disso, a tecnologia é considerada de baixo custo, uma vez que o apalpamento, via máquina-ferramenta, pode ser realizado durante o período noturno, quando a mesma, normalmente, não é ocupada para processos de fresamento.

Maiores vantagens podem ser obtidas, quando as informações dos pontos digitalizados, podem ser repassadas para um sistema CAD/CAM, através de uma interface adequada [41, 90]. Assim, a geometria apalpada pode ser remodelada e servir de ponto de partida para a geração de uma nova peça/cavidade, ligeiramente distinta daquela obtida do modelo original. Através dos recursos de modelamento oferecidos pelos sistemas CAD, o modelo físico não precisa ser totalmente digitalizado, quando se tratar de peças com regiões simétricas, uma vez que o seu completo modelamento pode ser realizado no sistema, reduzindo tempos de apalpamento e liberando a máquina NC para operações de usinagem.

Assim, é bastante recomendável que os sistemas CAx, voltados para atender o setor de moldes de injeção, ofereçam interfaces apropriadas para importar dados sobre as superfícies de modelos físicos obtidas do emprego da tecnologia de digitalização.

Fresamento simultâneo nos 5-eixos de usinagem

As vantagens teóricas do emprego desta tecnologia já é, há alguns anos, bastante conhecida da indústria mecânica, em particular, a aero-espacial, em função da necessidade, deste setor, encontrar soluções de usinagem para turbinas e peças típicas de aviação [114].

Uma comparação geral, entre as vantagens e as desvantagens desta tecnologia, em relação ao fresamento simultâneo em 3 eixos de usinagem, pode ser resumida pela representação da **Figura A.62** [41, 114, 115, 116, 130]. A principal vantagem que é vista no fresamento simultâneo em 5 eixos se refere ao bom ajuste que ocorre entre a ferramenta e a superfície usinada. Desta forma, torna-se possível utilizar fresas de topo de grandes diâmetros, tanto para operações de desbaste quanto para de acabamento, resultando na redução dos tempos gastos com trabalhos de acabamento superficial [90, 116].

Se por um lado, tem-se a vantagem de ciclos de usinagem mais curtos (em função de se obter, para uma mesma profundidade de corte, uma maior distância entre os passes de usinagem) e menor necessidade de operações de acabamento (em função de se obter superfícies de melhor qualidade), a tecnologia tem encontrado (ainda) algumas barreiras no setor de moldes de injeção, causadas, em resumo, pelos seguintes fatores [41, 117]:

- Elevados custos da máquina-ferramenta e necessidade de pessoal especializado, tanto para operar a máquina de 5-eixos, quanto utilizar o sistema CAD/CAM para gerar os programas NC;

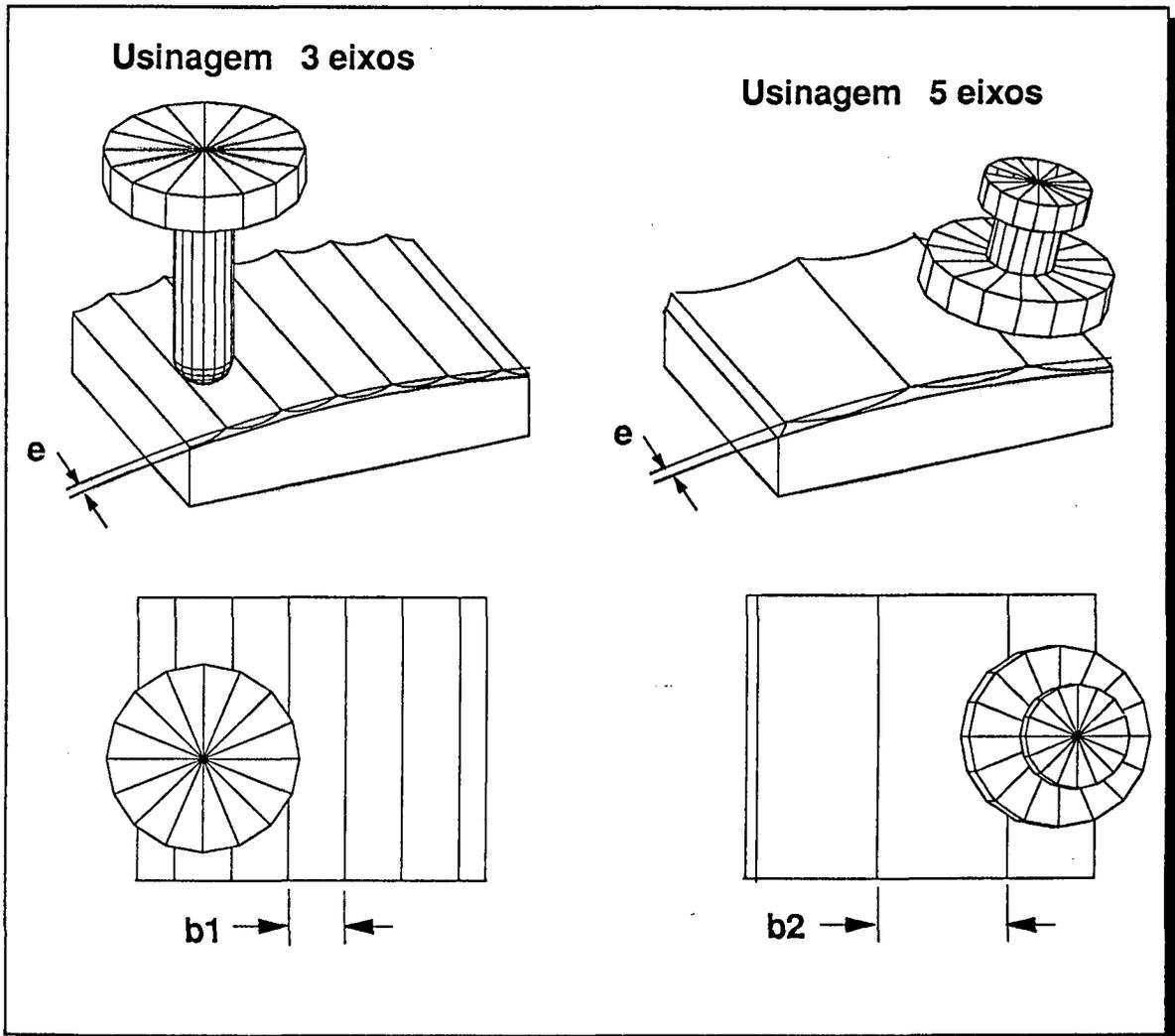


Figura A.62 - Comparação entre os processos de fresamento simultâneo em 3 e 5 eixos de usinagem [41].

- Falta de pós-processadores mais confiáveis nos sistemas CAD/CAM que vêm sendo comercializados;

- Dificuldades em manipular e controlar as informações (normalmente, muito extensas) das diferentes posições assumidas pela ferramenta em contato com a superfície de usinagem, exigindo-se para isto, o emprego de melhores sistemas DNC;
- Devido a tecnologia ser mais adequada para a usinagem de peças com grandes superfícies ligeiramente convexas (onde o controle de possíveis colisões é mais fácil de ser realizado), encontradas mais comumente na fabricação de moldes de compressão para o setor automobilístico. Adicionalmente, a grande maioria das peças 3D (80 a 90%, segundo WERKMANN[114]) podem ser fresadas em máquinas de 3-eixos.

Apesar de tais considerações o emprego da referida tecnologia é considerado como uma alternativa que deverá ser cada vez mais utilizada pelo setor [42, 130], em função da diminuição ou mesmo eliminação das dificuldades citadas. Assim, softwares de simulação de usinagem e pós-processadores para máquinas fresadoras de 5-eixos devem fazer parte do conjunto de características a serem oferecidas por sistemas CAx voltados a atender a área de fabricação de moldes de injeção.

Medição NC em Máquinas de Medir por Coordenadas

Uma etapa que vem se tornando cada vez mais fundamental, dentro do processo de desenvolvimento de moldes de

injeção, diz respeito ao controle de qualidade. O controle rigoroso, sob os pontos de vista dimensional e de acabamento superficial, das diversas peças que são fabricadas para posteriormente serem montadas na etapa final do processo, é um aspecto importante que pode ser realizado com o apoio de programas computacionais específicos, controlados por computadores acoplados às máquinas de medição [15]. Especificamente para o caso de superfícies do tipo "freeform", cada vez mais presentes nas peças de plástico a serem obtidas pelo processo de injeção, alguns fornecedores de sistemas CAx oferecem interfaces para programas de medição em máquinas de medir por coordenadas ou mesmo módulos residentes no sistema CAx, especialmente desenvolvidos para a elaboração de programas de medição, posterior comparação dos resultados medidos na máquina de medição e geração de protocolos de medição [83]. Assim, é desejável que sistemas CAx, voltados para atender o setor de moldes de injeção para produtos de plástico, possuam módulos adicionais voltados a dar suporte ao emprego da citada tecnologia de medição.

Prototipagem rápida de modelos

Visando atender o mercado de fabricação de modelos físicos e de protótipos, surgiram diversas tecnologias conhecidas por Prototipagem Rápida ("Rapid Prototyping"), nestes últimos anos, agrupadas sob a denominação de "FFF - Fast Free Form Fabrication" [118] ou "LMT - Layer Manufacturing

Technologies" que possibilitam que os modelos físicos sejam criados mediante a sobreposição de camadas ("layer"), a partir de dados de modelamento via sistemas CAD-3D [119, 120]. A tecnologia LMT mais conhecida é a "Stereolitography" (SLT). Desenvolvida em 1986 nos Estados Unidos e introduzida na Europa em 1988, a nova tecnologia, inicialmente desenvolvida para atender aos desejos de "Designers" mais exigentes, que durante a fase de concepção de um produto, necessitassem "sentir" a forma assumida pela geometria modelada no CAD, tem despertado o interesse dos mais diversos setores da indústria moderna.

O princípio de funcionamento do processo de estereolitografia pode ser representado pelo esquema da Figura A.63.

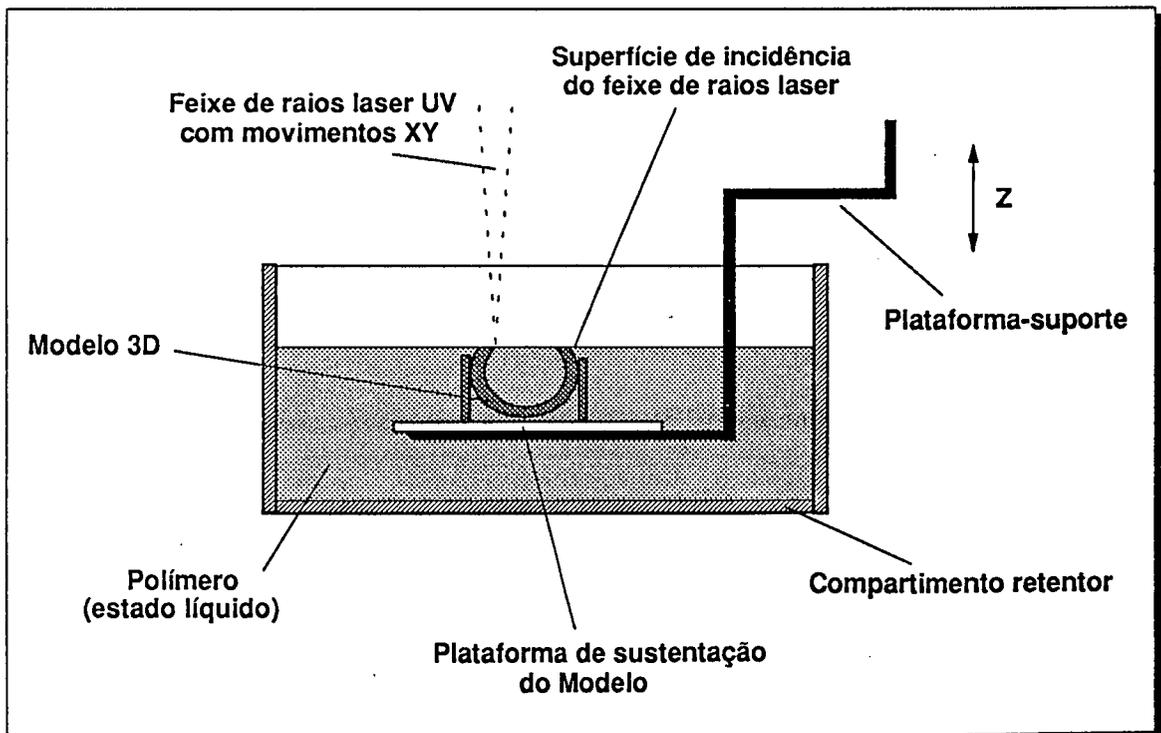


Figura A.63 - Esquema representativo do princípio de funcionamento do processo de estereolitografia [120, 121].

O modelo 3D do protótipo de plástico é construído, camada sobre camada, em um compartimento da máquina que armazena um polímero, em estado líquido, que se solidifica quando exposto a luz ultra-violeta. Assim, um feixe de raios laser, percorre diferentes trajetórias xy, sobre a superfície líquida do polímero, solidificando, pelo processo de cura, os locais onde incide. Os movimentos das trajetórias descrevem contornos (perfis) 2D do modelo 3D construído no CAD, obtidos pela intersecção de planos de corte paralelos, distribuídos na direção da altura z do modelo no CAD, representativos de cada camada a ser solidificada. Uma vez a primeira camada ter sido criada, a segunda camada é construída sobre a primeira, após a plataforma-suporte da máquina (ver Figura A.63) se movimentar, no sentido da profundidade do compartimento, de um pequeno valor em z suficiente para que o polímero líquido possa cobrir a primeira camada solidificada e o feixe de raios laser descrever, posteriormente, as respectivas trajetórias xy. Após todas as camadas terem sido construídas, o protótipo de plástico é retirado da máquina e o processo final de cura ocorre em um forno especial [118, 120, 121, 122].

Para a área de plásticos e de moldes de injeção, a tecnologia pode ser bastante útil na fase de "design" de artigos de plástico e para a fabricação de protótipos, durante a fase de projeto do molde, para facilitar a interpretação dos desenhos da cavidade a ser usinada a partir do modelo físico da peça a ser injetada. Especialmente para a fase de fabricação de moldes de injeção, pesquisas têm sido desenvolvidas no sentido de se produzir eletrodos, a partir dos modelos gerados pelo

processo de estereolitografia, o que poderá se tornar uma poderosa ferramenta de trabalho para o setor [119, 121]. Assim, adicionalmente aos módulos básicos mencionados no item anterior, é desejável que sistemas CAx, voltados para atender o setor de moldes de injeção, possuam interfaces apropriadas para suportar a tecnologia de estereolitografia.

Parte 6

Considerações finais

Conforme apresentado na Parte 2, existem diversos programas computacionais voltados a auxiliar as atividades referentes às fases de concepção, projeto e fabricação de moldes de injeção para a indústria de transformação de plásticos.

Contudo, de acordo com o descrito nas Partes 3 e 4, para que as empresas, do setor de moldes de injeção, venham a se beneficiar com a introdução dos sistemas/módulos CAE, CAD e CAM, é fundamental que levem em conta que:

- (a) A **estrutura organizacional** das mesmas seja **adaptada** às exigências de trabalho da tecnologia CAx, ou seja, uma forma de trabalho sedimentada em procedimentos de integração entre as fases de concepção, projeto e fabricação [15];

- (b) A implantação da tecnologia, em geral, exige um período relativamente longo de adaptação até começar a dar retorno efetivo, devendo, portanto, se realizar através de um **planejamento sistematizado**, onde a seleção do sistema, através de testes de "Benchmark", e do pessoal a ser treinado, são fatores decisivos para o sucesso do uso da nova tecnologia na empresa [14, 15];

(c) Em todos os módulos CAx, os **usuários** (projetistas, processistas e programadores NC) devem ser pessoas **experientes**, nas respectivas áreas de atuação e na utilização dos programas existentes nos módulos CAx [47, 52, 90]. Isto porque, os recursos oferecidos pelos sistemas, ainda fazem com que haja muitas operações interativas (homem/máquina) exigindo bastante atenção por parte do usuário, tornando determinadas etapas do processo, principalmente no caso de peças/cavidades complexas, ainda bastante trabalhosas, demoradas e cansativas [12, 15, 68, 123].

Os prejuízos são praticamente inevitáveis quando não é dada a devida importância ao que acima foi exposto. Exemplos, neste sentido, têm sido vividos e lamentados por indústrias de moldes que, após investimentos consideráveis em tecnologias CAx, sem o treinamento adequado de pessoal, se encontram diante do sério problema do despreparo, ou o que é pior, ausência total de mão-de-obra qualificada e experiente, em seus quadros, para lidar com a nova tecnologia [37, 52, 112, 124, 125].

Tal situação deve servir de exemplo para chamar atenção para uma das principais causas ligada a este despreparo, qual seja, a existência de um número insuficiente de instituições e entidades, dedicadas à formação de mão-de-obra especializada [27, 59]. O mesmo ocorre no Brasil, onde a formação de técnicos em transformação de plásticos se resume à Escola Mário Amato (SENAI-SP) e à Escola Técnica Tupy (Joinville-SC), enquanto que cabe à Universidade Federal de São

Carlos e à Universidade Federal da Paraíba, em Campina Grande, a responsabilidade de formar os profissionais com conhecimento sobre polímeros [27, 126]. O problema vem se agravando desde 1980 em função do mercado brasileiro ter crescido, desde então, em grau muito superior à proporção do número de técnicos que são formados anualmente pelos centros de formação citados [126]. **No caso específico de formação de profissionais com conhecimentos direcionados para o projeto e a fabricação de moldes, esta, praticamente, inexistente [59].**

Adicionalmente, a realização de um completo treinamento dos futuros usuários (de preferência realizado em etapas, com níveis de dificuldade crescente e sem a pressão de ter que dar retorno a curto prazo) é apontada como um fator decisivo para que a tecnologia venha a se mesclar, gradativa e satisfatoriamente, às atividades normais da empresa. Isto porque, é através da motivação e aceitação, principalmente dos primeiros usuários do sistema, que a chance de consolidar a tecnologia, na empresa, será maior [14, 125], pois dificilmente as pessoas se entusiasmam e aceitam aquilo que desconhecem ou não dominam.

Além disso, conforme apresentado na Parte 5, é necessário que os **sistemas/módulos CAx** apresentem recursos **dedicados**, ou seja, especialmente adaptados às necessidades do setor [07, 41]. Além da necessidade de apresentarem funções específicas (por exemplo: para facilitar e agilizar o modelamento de ângulos de saída; eventuais alterações em regiões de malhas de elementos finitos que apresentam erros; os cálculos das trajetórias de usinagem, em operações de acabamento, a

partir de geometrias pré-desbastadas; etc) é recomendável que os sistemas ofereçam recursos que **facilitem o aprendizado** de usuários novos, sem experiência prévia, apresentando interfaces de comunicação mais amigáveis.

Devido a necessidade de usuários experientes, em cada fase do processo de desenvolvimento de moldes de injeção, via sistemas CAx, é recomendável que, profissionais interessados em desenvolvê-los empreguem técnicas computacionais capazes de representar e manipular o conhecimento tecnológico de um profissional especialista. Os assim conhecidos **Sistemas Especialistas** ("Expert Systems") ou **Sistemas Baseados em Conhecimentos** ("Knowledge-Based Systems") [94, 127, 128] podem ser empregados para auxiliar **usuários com pouca experiência**, por exemplo, na:

- Interpretação dos resultados fornecidos pela simulação do processo de injeção na tela do computador, em sistemas CAE;
- Elaboração de desenhos técnicos de montagem dos componentes e acessórios do molde, através de regras básicas de projeto de moldes de injeção;
- Elaboração de planos de processo, com seleção automática dos parâmetros de usinagem mais apropriados para os tipos de materiais usados pelo setor de moldes de injeção;
- Seleção de estratégias de usinagem mais apropriadas com base no tipo de material e de geometria da peça a ser usinada.

Em resumo, pode-se concluir que, além das condições básicas (a), (b) e (c), evidenciadas anteriormente, e dos esforços no sentido de desenvolver sistemas/módulos CAx mais eficientes e dedicados ao setor, é **fundamental** que sejam criados urgentemente, meios eficientes de **formação de mão-de-obra** qualificada [131], com conhecimentos práticos em relação ao emprego de sistemas CAx para a área de moldes de injeção. Assim, o contínuo e crescente desenvolvimento tecnológico do setor de peças de plástico, obtidas pelo processo de injeção, e conseqüentemente, a sobrevivência de inúmeras empresas do setor de moldes, estarão respaldados por uma maior disponibilidade de mão-de-obra especializada.

Este "Manual de Orientação" representa, até o momento, a contribuição mais significativa, de parte do GRUCON, no sentido de colaborar na formação desta mão-de-obra, tão necessária ao desenvolvimento de uma das áreas que mais vem crescendo em todo o mundo.