

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

**PROPOSTA DE UM MODELO DE REFERÊNCIA PARA O
DESENVOLVIMENTO INTEGRADO DE COMPONENTES DE
PLÁSTICO INJETADOS**

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

GIOVANNI DARÉ

FLORIANÓPOLIS, JUNHO DE 2001

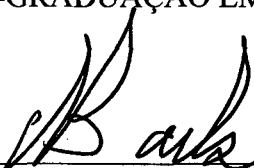
**PROPOSTA DE UM MODELO DE REFERÊNCIA PARA O DESENVOLVIMENTO
INTEGRADO DE COMPONENTES DE PLÁSTICO INJETADOS**

GIOVANNI DARÉ

ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE

MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA

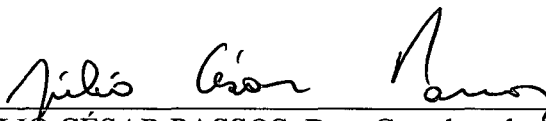
ESPECIALIDADE ENGENHARIA MECÂNICA E APROVADA EM SUA FORMA FINAL
PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA



Prof. NELSON BACK, PhD - Orientador

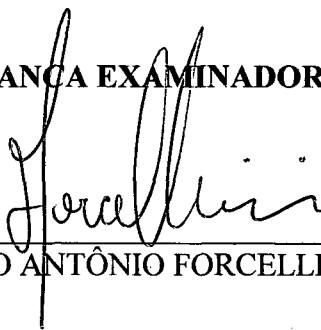


Prof. CARLOS H. AHRENS, Dr. Eng. Mec. - Coorientador

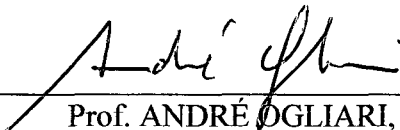


Prof. JÚLIO CÉSAR PASSOS, Dr. - Coordenador do Curso

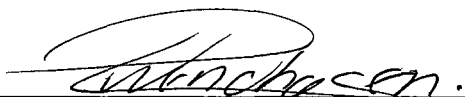
BANCA EXAMINADORA



Prof. FERNANDO ANTÔNIO FORCELLINI, Dr. Eng. Mec.



Prof. ANDRÉ OGLIARI, Dr. Eng. Mec.



Prof. PAULO WENDHAUSEN, Dr.- Ing.

Aos meus pais
Roque José e Maria Eurides

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Nelson Back, que soube orientar os trabalhos na direção da vanguarda das pesquisas nas áreas relacionadas.

Ao Professor Carlos Henrique Ahrens, pelas inúmeras sugestões e empenho como coorientador deste trabalho.

Ao Professor André Ogliari, pelas várias contribuições e material bibliográfico fornecido.

Ao Professor Fernando Antônio Forcellini, pelo apoio no início dos trabalhos.

Aos Professores Günter Höhne e Eberhard Lotter, da Universidade Técnica de Ilmenau, pela recepção e auxílio durante as visitas às empresas fabricantes de moldes e componentes de plástico injetados na Alemanha.

Às empresas Vama Industrial Ltda., Plasvale, Techno Jung (Jung Tecnologia Ltda.), Intelbras, DiTom Kunststofftechnik GmbH, 3D Schilling GmbH, Eugen Helm (Formenbau und Thermoplastverarbeitung GmbH), Werkzeugbau Langbein & Co GmbH, pelas visitas concedidas e informações prestadas.

Aos que colaboraram para a realização do estudo de caso que ilustra esta dissertação.

Aos colegas do NeDIP e CIMJECT que colaboraram diretamente ou indiretamente para a realização deste trabalho.

Aos professores das disciplinas assistidas, sempre cientes de suas responsabilidades para com a formação de profissionais capacitados.

Ao CNPq, pelo apoio financeiro através da concessão de bolsa de pesquisa.

À Coordenadoria de Pós-Graduação do Departamento de Engenharia Mecânica e ao FUNEVEM, pelo apoio financeiro para a publicação de artigos.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABELAS	x
LISTA DE SIGLAS	xi
RESUMO	xii
ABSTRACT	xiii
CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO	1
1.1 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA	1
1.1.1 <i>Novas Exigências para a Tarefa de Projeto</i>	1
1.1.2 <i>Diagnóstico da Indústria de Transformação de Materiais Plásticos</i>	4
1.1.3 <i>Caracterização do Setor de Transformação de Materiais Plásticos Através da Moldagem por Injeção</i>	9
1.1.4 <i>Tendências Futuras</i>	14
1.2 JUSTIFICATIVAS	16
1.3 OBJETIVOS DA DISSERTAÇÃO	18
1.4 CONTEÚDO DA DISSERTAÇÃO	20
CAPÍTULO 2 DESENVOLVIMENTO E PRODUÇÃO DE COMPONENTES DE PLÁSTICO INJETADOS	22
2.1 INTRODUÇÃO	22
2.2 ASPECTOS DO PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE COMPONENTES DE PLÁSTICO INJETADOS	23
2.2.1 <i>Identificação dos Clientes de Projeto</i>	23
2.2.2 <i>Abordagem de Projeto de Componentes Praticada pelas Indústrias do Setor</i>	24
2.3 DEFINIÇÃO DO CONCEITO E DETALHAMENTO DO PROJETO	28
2.4 SELEÇÃO DE MATERIAIS PLÁSTICOS	30
2.5 PROJETO E FABRICAÇÃO DE MOLDES PARA INJEÇÃO DE PLÁSTICO	35
2.5.1 <i>Cavidades de Injeção</i>	37
2.5.2 <i>Projeto do Sistema de Canais de Alimentação</i>	42
2.5.3 <i>Pontos de Injeção</i>	45
2.5.4 <i>Sistema de Refrigeração</i>	48
2.5.5 <i>Sistema de Extração</i>	48
2.6 PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO DE COMPONENTES INJETADOS - PARÂMETROS ENVOLVIDOS	49

2.6.1 Seleção da Máquina Injetora	49
2.6.2 O Ciclo de Injeção	51
2.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	54
CAPÍTULO 3 ABORDAGENS DE PROJETO E NOVAS TENDÊNCIAS PARA O PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE COMPONENTES DE PLÁSTICO INJETADOS	56
3.1 INTRODUÇÃO	56
3.2 ASPECTOS GERAIS SOBRE METODOLOGIAS DE PROJETO	57
3.2.1 Definições Básicas	57
3.2.2 Metodologias Genéricas de Projeto	58
3.2.3 Considerações Quanto a Adequação das Metodologias Genéricas ao Projeto de Componentes de Plástico Injetados	62
3.2.4 Propostas com Ênfase na Relação entre Função e Features de Projeto	66
3.3 A ENGENHARIA SIMULTÂNEA COMO ABORDAGEM DE PROJETO	68
3.3.1 Fundamentos	68
3.3.2 A Engenharia Simultânea e o Processo de Desenvolvimento de Componentes de Plástico Injetados	74
3.3.3 Propostas de Abordagem para o Projeto de Componentes de Plástico Injetados sob os Preceitos da Engenharia Simultânea com Base na Formação de Equipes Multidisciplinares	79
3.3.4 Abordagens para o Projeto de Componentes sob os Preceitos da Engenharia Simultânea com base no Auxílio de Sistemas Especialistas	87
3.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	93
CAPÍTULO 4 ESTUDO DE CASO: DESENVOLVIMENTO DE COMPONENTES PARA UMA MÁQUINA DESTINADA À AUTOMAÇÃO BANCÁRIA	96
4.1 OBJETIVOS	96
4.2 APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA DE PROJETO	97
4.3 PLANEJAMENTO DO PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO E METODOLOGIA DE PROJETO EMPREGADA	98
4.4 FASE DE PROJETO DOS COMPONENTES	100
4.4.1 Projeto Informacional dos Componentes	100
4.4.2 Projeto Conceitual dos Componentes	104
4.4.3 Projeto Preliminar e Detalhado dos Componentes	110
4.5 FASE DE PROJETO E FABRICAÇÃO DOS MOLDES	117
4.6 RESULTADOS OBTIDOS	119

CAPÍTULO 5 PROPOSTA DE UM MODELO DE ABORDAGEM PARA O PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE COMPONENTES DE PLÁSTICO INJETADOS	125
5.1 INTRODUÇÃO	125
5.2 FUNDAMENTOS DA PROPOSTA	126
5.2.1 <i>Ciclo de Vida e Ciclo de Desenvolvimento de Componentes de Plástico Injetados</i>	126
5.2.2 <i>Definição dos Requisitos da Proposta</i>	131
5.2.3 <i>Estrutura da Sistemática Proposta</i>	133
5.3 FASE DE PROJETO DO COMPONENTE	136
5.3.1 <i>Etapa de Projeto Informacional do Componente</i>	136
5.3.2 <i>Etapa de Projeto Conceitual do Componente</i>	143
5.3.3 <i>Etapa de Projeto Preliminar do Componente</i>	148
5.3.4 <i>Etapa de Projeto Detalhado do Componente</i>	154
5.4 O PROJETO E FABRICAÇÃO DO MOLDE E O PLANEJAMENTO DO PROCESSO DE PRODUÇÃO: FASES EXECUTADAS EM PARALELO.....	156
5.4.1 <i>Integração do Projeto do Molde ao Projeto do Componente</i>	157
5.4.2 <i>Etapa de Projeto de Leiaute do Molde</i>	159
5.4.3 <i>Etapa de Projeto Preliminar do Molde</i>	162
5.4.4 <i>Etapa de Projeto Detalhado do Molde</i>	165
5.4.5 <i>Etapa de Planejamento do Processo de Fabricação e Fabricação do Molde</i>	165
5.4.6 <i>Integração do Planejamento do Processo de Produção ao Projeto do Componente .</i>	167
5.5 SEQUENCIAMENTO E EXECUÇÃO SIMULTÂNEA DAS TAREFAS	170
5.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	177
CAPÍTULO 6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	181
6.1 Conclusões	181
6.2 Recomendações para Trabalhos Futuros	188
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	192
APÊNDICE 1	199
APÊNDICE 2	202
APÊNDICE 3	206
APÊNDICE 4	212
APÊNDICE 5	214

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 -	Agentes da cadeia produtiva envolvendo o setor de moldagem por injeção	10
Figura 1.2 -	Classificação de produtos de plástico injetados (OGLIARI, 1999)	19
Figura 2.1 -	Processo tradicional de desenvolvimento de componentes de plástico injetados: segmentado e com barreiras inter-organizacionais	27
Figura 2.2 -	Principais tarefas do projeto de moldes para injeção de plásticos	36
Figura 2.3 -	Estabelecimento do número ótimo de cavidades	39
Figura 3.1 -	Estrutura básica das metodologias de projeto (adaptado de OGLIARI, 1999)	58
Figura 3.2 -	Simultaneidade entre as atividades executadas por Defosse <i>et al.</i> (1997)	81
Figura 3.3 -	Desenvolvimento simultâneo das atividades na concepção de MALLOY (1994)	82
Figura 3.4 -	Simultaneidade das fases conforme proposto por BACK (1998)	86
Figura 3.5 -	Proposta de abordagem para o processo de desenvolvimento em comparação com o processo tradicional (EASTMAN e SMITH, 1996)	86
Figura 3.6 -	Representação da abordagem de projeto proposta por Beiter <i>et al.</i> (1995)	88
Figura 3.7 -	Informações relevantes de apoio ao projeto conceitual implementadas computacionalmente por PERERA (1997)	89
Figura 3.8 -	Modelo de projeto estruturado por ISHII <i>et al.</i> (1989)	90
Figura 3.9 -	Fluxo de informações e modelo de estruturação para sistema especialista proposto por AL-ASHAAB e YOUNG (1997)	91
Figura 3.10 -	Bases da proposta de BORG e MacCALLUM (1995)	92
Figura 3.11 -	Estrutura proposta por CHIN e WONG (1996) como base para o sistema especialista de apoio ao projeto de componentes de plástico injetados	94
Figura 4.1 -	Conceito de um dos componentes (“componente número um”)	110
Figura 4.2 -	Componente número um do conjunto de guias para a máquina destinada à automação bancária	113
Figura 4.3 -	Componente número um do conjunto de guias para a máquina destinada à automação bancária (verso)	114
Figura 4.4 -	Componente número dois do conjunto de guias para a máquina destinada à automação bancária	114
Figura 4.5 -	Componente número dois do conjunto de guias para a máquina destinada à automação bancária (verso)	115
Figura 4.6 -	Componente número três do conjunto de guias para a máquina destinada à automação bancária	115
Figura 4.7 -	Componente número três do conjunto de guias para a máquina destinada à automação bancária (verso)	116
Figura 4.8 -	Componente número quatro do conjunto de guias para a máquina destinada à automação bancária	116
Figura 4.9 -	Componente número quatro do conjunto de guias para a máquina destinada à automação bancária (verso)	117
Figura 4.10 -	Localização do canal de injeção no componente número um	119
Figura 4.11A	Componente projetado pelo cliente contratante	121
Figura 4.11B	Componente projetado pela equipe de desenvolvimento multidisciplinar	121

Figura 5.1 -	Ciclo de vida e ciclo de desenvolvimento de componentes de plástico injetados	130
Figura 5.2 -	Fases e etapas do processo de desenvolvimento de componentes de plástico injetados	134
Figura 5.3 -	Processo de desenvolvimento de componentes de plástico injetados	135
Figura 5.4 -	Significado dos símbolos adotados nos fluxogramas que ilustram a proposta	136
Figura 5.5 -	Transferência dos requisitos de projeto do sistema técnico ao projeto do componente (BEITER e ISHII, 1999)	139
Figura 5.6 -	Etapa de projeto informacional de componentes de plástico injetados	142
Figura 5.7 -	Etapa de projeto conceitual do componente	145
Figura 5.8 -	Etapa de projeto preliminar de componentes de plástico injetados	150
Figura 5.9 -	Etapa de projeto detalhado de componentes de plástico injetados	156
Figura 5.10 -	Etapa de projeto de leiaute do molde	161
Figura 5.11 -	Etapa de projeto preliminar do molde	163
Figura 5.12 -	Etapas de projeto detalhado do molde e de fabricação do molde	166
Figura 5.13 -	Etapa de planejamento do processo de produção de componentes de plástico injetados	169
Figura 5.14 -	Esquema comparativo entre o processo de desenvolvimento seqüencial e o processo de desenvolvimento simultâneo de componentes de plástico injetados	171
Figura 5.15 -	Matriz DSM	172
Figura 5.16 -	Matriz DSM para o processo de desenvolvimento de componentes de plástico injetados: inter-relação entre as tarefas segundo o fluxo de informações	179
Figura 5.17 -	Representação da execução simultânea das tarefas do processo de desenvolvimento de componentes de plástico injetados	180

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 - Crescimento da produção mundial de materiais plásticos (BRYDSON e HEINEMANN, 1999)	4
Tabela 1.2 - Consumo de resina pela indústria de transformação no Brasil	5
Tabela 1.3 - Mercado de produtos transformados	6
Tabela 1.4 - Dados comparativos entre os processos de transformação do plástico em Santa Catarina	8
Tabela 1.5 - Fatores críticos de competitividade (BRDE, 1997)	11
Tabela 2.1 - Equipe mínima de desenvolvimento de componentes de plástico injetados e relação com os clientes de projeto (adaptado de OGLIARI, 1999)	24
Tabela 2.2 - Valores para recomendações de projeto mais frequentes	26
Tabela 2.3 - Características de alguns dos principais materiais moldados por injeção	33
Tabela 2.4 - Parâmetros que podem influenciar a seleção do material plástico	34
Tabela 2.5 - Matriz de Resultados (adaptado de MENGES e MOHREN, 1993)	40
Tabela 2.6 - Parâmetros importantes para a seleção da máquina injetora	50
Tabela 2.7 - Relações entre os parâmetros de processo e o componente injetado	53
Tabela 3.1 - Diferenças básicas entre projeto de sistemas técnicos e projeto de componentes	66
Tabela 3.2 - Principais <i>features</i> de componentes de plástico injetados e funções relacionadas, segundo WOOD e ULLMAN (1996) (adaptado de OGLIARI, 1999)	67
Tabela 3.3 - <i>Softwares</i> de auxílio ao desenvolvimento e gerenciamento integrado de projetos	78
Tabela 3.4 - Informações e meios para a realização das atividades, conforme proposto por BACK (1998)	85
Tabela 4.1 - Princípios de solução sugeridos para as principais funções	106
Tabela 4.2 - Parâmetros relacionados com os critérios de seleção adotados	109
Tabela 5.1 - Possíveis relações entre atividades representadas em uma matriz DSM	172

LISTA DE SIGLAS

CAD - Computer Aided Design
CAE - Computer Aided Engineering
CAM - Computer Aided Manufacturing
CERC - West Virginia University's Concurrent Engineering Research Center
CNC - Computer Numerical Control
CPC - Collaborative Product Commerce
CPM - Critical Path Method.
CVPD - Collaborative Virtual Product Development
DEFNEC - Programa de Auxílio à Definição de Necessidades de Projeto
DFM - Design for Manufacturing
DFLC - Design for Life Cycle
DNC - Distributed Numerical Control
DOE - Design of Experiments
DSM - Design Structure Matrix ou Dependency Structure Matrix
ECIB - Estudo da Competitividade da Indústria Brasileira
FAST - Functional Analysis System Technique
FMEA - Failure Mode and Effect Analysis
GERT - Graphical Evaluation and Review Technique
ISO - International Standards Organization
KALIF - Kunststoffgerechtes Anforderungslisten-System für die Formteilentwicklung
KMS - Knowledge Management System
LAN - Local Area Network
PCP - Planejamento e Controle da Produção
PDM - Product Data Management
PERT - Program Evaluation and Review Technique
QFD - Quality Function Deployment
SACPRO - Sistema de Apoio à Concepção de Produtos
TI - Tecnologia da Informação
VE - Virtual Enterprise
WAN - Wide Area Network

RESUMO

O setor de transformação do plástico através da moldagem por injeção vem experimentando um rápido crescimento, ao mesmo tempo em que se percebe um aumento no conteúdo tecnológico dos produtos produzidos. A sua associação com outros setores produtivos altamente competitivos, tem exigido produtos com melhor qualidade e obtidos num espaço de tempo cada vez menor. Melhorias no processo de desenvolvimento de componentes de plástico moldados por injeção podem contribuir muito para o alcance de tais objetivos.

Propor um modelo de referência para o processo de desenvolvimento de componentes de plástico injetados, de modo a torná-lo mais estruturado e fundamentado nas melhores práticas de projeto e gerenciamento, é o objetivo principal deste trabalho. Para tanto, um estudo inicial das características do setor e do próprio processo de desenvolvimento é feito, como forma de melhor adequar a proposta. O modelo tem base no estudo das metodologias clássicas de projeto e nas propostas de abordagem mais específicas para este tipo de projeto. Um estudo de caso conduzido em paralelo à elaboração deste trabalho também é descrito, consistindo no desenvolvimento de quatro componentes de plástico injetados através de uma abordagem de engenharia simultânea, servindo também de subsídio para as propostas apresentadas.

O projeto integrado, ou engenharia simultânea, é proposto como uma abordagem capaz de trazer significativas melhorias ao processo de desenvolvimento de componentes de plástico moldados por injeção, sobretudo com relação à redução de seu longo ciclo de desenvolvimento.

Pretende-se desta forma, contribuir no sentido de tornar o processo de desenvolvimento de componentes de plástico injetados mais integrado, eficiente e racional, resultando na obtenção de produtos mais inovadores, com melhor qualidade, menor custo e num menor espaço de tempo.

ABSTRACT

The injection molded plastic industry has been experiencing a very fast development as a noticeable technological improvement for the manufacturable products keeps on going on. Its association with other highly competitive economic sectors demands extremely high quality products which are supposed to be produced in a very short lead time. Improvements on the injection molded plastic component development process can effectively contribute to the achievement of the goals listed above.

Establishing a reference model for the injection molded plastic component development process, in order to make it based on the best design and management practices, happens to be the main goal of this dissertation. Therefore, a preliminary study on the main sector characteristics as well as the development process itself has to be carried on, so that the model can be fitted. The model has its basis on classical design methodologies and specific design approaches for injection molded parts development. A case study which was conducted in parallel to the elaboration of this project is also described. It consists on the development of four injection molded plastic components under a simultaneous engineering approach, which also works as a basis for the reference model.

The concurrent or simultaneous engineering is recommended as an approach able to bring significant improvements to the injection molded plastic component development process, mainly to decrease the development cycle time.

In this sense, it is intended to turn such process into something more integrated, efficient and also rational. As an expected result, innovative high quality products will be available in lower cost as well as in a shorter lead time.

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

1.1.1 Novas Exigências para a Tarefa de Projeto

Num ambiente cada vez mais dinâmico, onde são freqüentes as mudanças, sejam elas relacionadas com o progresso da tecnologia, com as necessidades mutantes de clientes cada vez mais exigentes, ou simplesmente para acompanhar a concorrência, torna-se condição fundamental a adoção de técnicas que suportem um ritmo acelerado de introdução de novos produtos no mercado, garantindo ainda qualidade e preços competitivos. Nesta descrição enquadram-se principalmente aqueles setores relacionados com mercados dinâmicos de produtos com elevado valor agregado, embora existam seguimentos setoriais onde um único aspecto dos três principais que sustentam a competitividade — custo, tempo de entrega ou de introdução de um novo produto no mercado e qualidade — tenha que ser priorizado em detrimento dos demais, conforme o padrão de concorrência em questão.

O desafio das novas metodologias, métodos e abordagens de projeto é estar em acordo com estas novas exigências, provendo condições e facilidades para que os novos objetivos determinados pelas atuais condições de competitividade sejam alcançados, considerando ainda que, cada vez mais, o desempenho das empresas depende, em grande parte, da sua capacidade em inovação e diferenciação do produto.

A grande questão que se pretende abordar com este texto é, como melhorias no processo de desenvolvimento de componentes de plástico injetados podem influenciar e contribuir positivamente nos processos subseqüentes e nos resultados de desempenho alcançados, sejam estes resultados relacionados com a qualidade e funcionalidade durante o uso do produto, com o aumento de participação no mercado ou com o próprio desempenho econômico do fabricante. Desta forma, pretende-se buscar subsídios para definir qual a abordagem de projeto que deve ser adotada para o longo e complexo processo de desenvolvimento de componentes de plástico injetados.

Como a competitividade é um termo bastante presente neste texto, e também um conceito já bastante utilizado, desgastado e muitas vezes distorcido, cabe aqui algumas palavras para conceituar o termo. Segundo o Estudo da Competitividade da Indústria Brasileira - ECIB (COUTINHO *et al.* 1994), um extensivo diagnóstico elaborado por um conjunto de instituições, envolvendo universidades, empresas, institutos de pesquisa e órgãos governamentais, a competitividade tem sido amplamente abordada nos últimos vinte anos sob dois enfoques: desempenho no mercado (*market share*) e eficiência técnica dos processos produtivos. Segundo o estudo citado, ambos os enfoques são muito restritos, na medida em que são apenas indicadores estáticos para um determinado momento. Buscando dar um enfoque dinâmico ao conceito, o ECIB trata a competitividade como “os resultados de capacitações acumuladas e estratégias competitivas adotadas pelas empresas”, superando o antigo conceito de que a competitividade é apenas uma questão de preços e custos. Desta forma, define a competitividade como “a capacidade da empresa de formular e implementar estratégias concorrenciais que lhe permitam conservar, de forma duradoura, uma posição sustentável no mercado”. Assim sendo, a competitividade depende não só do padrão de competição do presente, mas também da percepção de quais serão as variáveis críticas que determinarão a competição no futuro. O conceito de competitividade é, portanto, bastante amplo. Em acordo com este conceito e dentro da proposta desta dissertação, o enfoque dado ao longo deste texto diz respeito à busca de uma vantagem competitiva pela melhoria no processo de desenvolvimento de produto, embora seja este apenas um dos aspectos a ser abordado no intuito de melhorar a competitividade, na definição *lato sensu* do termo.

De forma simplificada, a responsabilidade da etapa de projeto reside na identificação e busca da satisfação, ou até superação, das necessidades dos clientes. A melhora no processo de desenvolvimento de produto pode ter, como ficará claro ao longo desta dissertação, um forte impacto nas vantagens competitivas e na real satisfação das necessidades dos clientes, sendo estas determinadas pelas características dinâmicas do mercado relacionadas, em maior ou menor grau, com custo, qualidade, diferenciação do produto, conformidade técnica ou, ainda, tempo de entrega ou de desenvolvimento de um novo produto. O que se busca é agregar ao produto, desde as primeiras etapas do projeto, determinados fatores que são críticos para a competitividade, considerando todas as fases do ciclo de vida do produto.

Segundo a classificação feita pelo ECIB, os fatores que condicionam a competitividade, podem ser divididos em três grupos:

- fatores internos à empresa: estratégia e gestão, capacitação para inovação, capacidade

produtiva e recursos humanos;

- fatores estruturais (setoriais): mercado, configuração da indústria e concorrência;
- fatores sistêmicos: macroeconômicos internacionais, sociais, tecnológicos, infra-estruturais, político-institucionais, fiscais e financeiros.

As propostas defendidas nesta dissertação têm por objetivo melhorar o processo e as estratégias de desenvolvimento de componentes de plástico injetados, estando situadas, portanto, dentro dos fatores internos à empresa, sendo este o único grupo de fatores suscetível ao seu controle.

Para tanto, com o objetivo de melhor sustentar as propostas aqui apresentadas é situá-las dentro da realidade do setor, julgou-se necessário uma análise das características e situação atual do setor e das empresas relacionadas com o desenvolvimento e moldagem de componentes de plástico injetados. Embora seja grande a quantidade de material abordando o setor de transformação de materiais plásticos de um modo geral, a busca de diagnósticos, estatísticas e informações sobre o setor de componentes de plástico injetados em particular, revelou a inexistência de um material mais completo e específico sobre este segmento. Sabe-se, entretanto, que está sendo criada uma consciência relativa à melhora no desempenho das empresas, devido principalmente à forte concorrência de grandes grupos multinacionais que se instalaram no Brasil nos últimos anos, e que tentativas sobre estudos mais completos e específicos sobre o setor estão sendo feitas.

Em complemento às informações disponíveis na literatura sobre as características do setor, achou-se por bem realizar um estudo de campo com base empírica, num esforço pela busca de informações mais específicas e condizentes com a presente dissertação. O estudo foi realizado através de visitas a empresas do setor no Brasil e também na Alemanha, incluindo empresas fabricantes de moldes para injetoras. Embora o número de empresas visitadas não seja significativo (oito no total), o caráter homogêneo das informações colhidas encoraja a extrapolação de algumas características identificadas para o setor de uma maneira geral. Sabe-se, contudo, que o setor é bastante diversificado, e que muitas das características são exclusividade de um único segmento ou mesmo de uma única empresa. Observações e conclusões com base nas informações colhidas são apresentadas no Apêndice 1. Utilizou-se também como apoio para a obtenção de informações sobre o setor, dados colhidos junto a associações e órgãos representativos de classe, visitas a feiras e congressos internacionais, além das pesquisas em publicações e diagnósticos. Uma síntese das informações obtidas e do diagnóstico do setor é apresentada nos itens que seguem.

1.1.2 Diagnóstico da Indústria de Transformação de Materiais Plásticos

A forte tendência de crescimento da indústria de transformação de matérias plásticas em nível mundial vem se confirmando ano após ano há bastante tempo. O setor foi um dos que mais cresceu nos últimos vinte e cinco anos no mundo, sendo superado apenas pela indústria de equipamentos para processamento de dados (BRDE, 1997). Em 1994 a participação média da indústria de produtos de matérias plásticas sobre o total da indústria de transformação mundial já era em torno de 3,0%. Entre 1970 e 1995 a indústria mundial de transformação de resinas plásticas cresceu bem acima da indústria de transformação como um todo e do PIB mundial, qualquer que seja o sub-período ou ano considerado (BRDE, 1997). O crescimento da produção mundial de materiais plásticos é resumido na tabela 1.1.

Tabela 1.1 - Crescimento da produção mundial de materiais plásticos (BRYDSON e HEINEMANN, 1999).

Ano	Produção Mundial (toneladas)
1939	300.000
1951	2.000.000
1957	4.600.000
1960	6.200.000
1963	8.500.000
1967	18.000.000
1980	50.000.000
1992	91.237.000
1998	135.000.000

A evolução da indústria química, a contínua descoberta de novos materiais, o aperfeiçoamento dos já existentes, as vantagens das matérias plásticas com relação a custos, propriedades mecânicas, físicas e químicas, e as facilidades de processamento foram os responsáveis pelo rápido crescimento do setor. É um dos materiais com maior crescimento em novas aplicações, com forte tendência para substituir materiais tradicionalmente utilizados, principalmente com o objetivo de reduzir custos, diminuir peso e aumentar a produtividade na fabricação. Permite ainda obter formas muitas vezes difíceis ou impossíveis de serem obtidas com outros materiais.

A redução no custo relativo da matéria-prima básica, quando comparada com materiais tradicionais, também impulsionou o crescimento do setor. Segundo BRYDSON e HEINEMANN (1999), esta redução ocorreu devido aos seguintes fatores:

- o crescimento da indústria petroquímica mundial, permitindo a produção de material plástico a

baixos custos;

- a economia de escala;
- o desenvolvimento de novos métodos de polimerização;
- a competição acirrada entre as grandes companhias do setor químico.

O consumo per capita de materiais plástico no Brasil é próximo da média mundial, que é reduzida em função do baixo consumo nos países do antigo bloco socialista, contrabalançando o elevado consumo em países como os Estados Unidos (SIMPESC, 2000).

De um modo geral, o consumo de resinas plásticas no Brasil tem crescido a uma taxa média de 13% nos últimos anos, tendo alcançado um pico em 1995, com um crescimento de 25% sobre o consumo do ano anterior, seguindo o crescimento econômico verificado naquele período (ABIPLAST, 1999). Segundo os dados da tabela 1.2, o setor é bastante sensível ao comportamento global da economia, fato em parte explicado pela ampla utilização do plástico em bens de consumo e na construção civil, dois campos de aplicação reconhecidamente bastante vulneráveis à situação econômica. O comportamento é, entretanto, invariavelmente de crescimento, sendo que se observa uma tendência sempre crescente de utilização do plástico em aplicações tradicionalmente dominadas por outros materiais.

Tabela 1.2 - Consumo de resina pela indústria de transformação no Brasil.

Ano	Quantidade (toneladas)	Crescimento percentual sobre o ano anterior
1993	1.768.000	-
1994	1.993.000	13 %
1995	2.498.000	25 %
1996	2.679.000	7 %
1997	3.058.000	14 %
1998	3.321.000	9 %

Fonte: Perfil 98 Indústria Brasileira de Transformação do Plástico (ABIPLAST, 1999)

Em 1997, o processo de transformação por injeção foi responsável pelo consumo de 427.279 toneladas ou 14,47% do total das principais resinas consumidas no Brasil (ABIPLAST, 1998).

O total de vendas de produtos plásticos também tem experimentado um crescimento a cada ano, ocorrendo somente uma pequena redução em 1998, fato também explicado pela retração econômica ocorrida naquele ano, conforme os dados apresentados na tabela 1.3. Apesar

da redução nas vendas ocorrida em 1998 com relação ao ano anterior, o montante de vendas de produtos plásticos mais que triplicou desde 1993.

Tanto as exportações quanto as importações de produtos plásticos experimentaram um crescimento quando confrontados os dados de 1998 com os de 1993. No entanto, enquanto até 1994 havia um certo equilíbrio entre exportação e importação, o Brasil passou a importar mais que o dobro do valor exportado à partir de 1995, isto num setor que possui um mercado tipicamente doméstico na maioria dos países do mundo, quando se trata de bens finais e segundo dados analisados pelo Diagnóstico da Competitividade da Indústria de Produtos de Matérias Plásticas do Estado de Santa Catarina (BRDE, 1997). Este desequilíbrio é em grande parte explicado pela sobre-valorização cambial da moeda brasileira verificada naquele período, mas também pode ser entendido como a incapacidade das empresas brasileiras em estabelecer preços e prazos competitivos para seus produtos, devido a uma série de fatores, mas seguramente também devido a ineficiência dos processos.

Tabela 1.3 - Mercado de produtos transformados.

Ano	Total de Vendas (US\$ mi)	Crescimento %	Total das Importações (US\$ mi)	Crescimento %	Total das Exportações (US\$ mi)	Crescimento %
93	2.762	-	220	-	221	-
94	3.406	23	293	33	248	12
95	6.086	79	587	100	246	-1
96	8.452	39	646	10	236	-4
97	9.667	14	1105	71	509	116
98	9.346	-3	1045	5	476	-7

Fonte: Perfil 98 - Indústria Brasileira de Transformação do Plástico (ABIPLAST, 1999)

As empresas brasileiras do setor de transformação de resinas plásticas são tipicamente de pequeno porte, sendo que, segundo dados do Perfil 98 (ABIPLAST, 1999), em torno de 92% das empresas possuem menos de 100 funcionários. Quase 8% possuem entre 100 e 1000 funcionários e menos de 1% possuem mais de 1000 funcionários, de um total de 5346 empresas consideradas. No caso específico do setor de transformação do plástico através da moldagem por injeção não há dados disponíveis, mas acredita-se em números semelhantes.

As empresas estão agrupadas em segmentos, notadamente servindo à indústria automotiva, de bens eletroeletrônicos, da construção civil, de móveis, de brinquedos, utilidades domésticas, embalagens e descartáveis. As poucas empresas com mais de 1000 funcionários

atendem quase que exclusivamente ao setor da construção civil, produzindo tubos e conexões para instalações elétricas e hidráulicas, e estão concentradas na região norte do estado de Santa Catarina. São empresas fabricantes de produtos de baixa complexidade e produção em larga escala, onde tem grande importância a racionalização dos processos de produção, e que fazem uso, sobretudo, do processo de extrusão, mas também da moldagem por injeção.

As empresas de médio porte (entre 100 e 1000 funcionários) são em grande parte fornecedoras das indústrias dos setores automotivo e de eletroeletrônicos. Fabricam produtos com variável nível de complexidade e tamanho, com produção de média e larga escala. Os componentes de plástico injetados com maior complexidade e valor agregado são produzidos por este segmento do setor.

Por fim, a grande parte das empresas é caracterizada como sendo de pequeno porte (menos de 100 funcionários), atendendo principalmente aos segmentos de utilidades domésticas, descartáveis e embalagens, e produzindo produtos, em sua maioria, de baixa complexidade, pouca preocupação com a qualidade, alta escala de produção e com baixo valor adicionado.

O setor de transformação do plástico é, portanto, bastante diversificado com relação ao porte das empresas, à complexidade dos produtos produzidos e ao nível de exigência dos mercados.

Indiscutivelmente, o maior anseio por novos métodos de trabalho, visando um ganho de competitividade, está entre as empresas envolvidas com produtos de maior valor agregado e que servem a setores reconhecidamente competitivos e exigentes, sobretudo os setores automotivo e de eletroeletrônicos. São estas empresas que obrigatoriamente precisam continuamente melhorar a qualidade de seus produtos, reduzir prazos de entrega e praticar preços competitivos. Ao mesmo tempo, são estas empresas que estão envolvidas com projetos mais complexos, com maiores restrições e condições de contorno, onde são em maior número as variáveis de projeto e onde tem maior importância os ganhos de competitividade pela melhora nos produtos produzidos do que pelos ganhos de produtividade dos meios de produção. Para estas empresas é maior a necessidade de novas abordagens que auxiliem na complexa atividade de desenvolvimento de produtos. As empresas assim enquadradas são normalmente de médio porte, mas muitas vezes têm como clientes empresas de grande porte, e precisam atender às exigências destas empresas. Precisam, portanto, adotar práticas de vanguarda já comuns em empresas de maior porte.

Em Santa Catarina o porte médio das empresas do setor de transformação de resinas plásticas é superior a média brasileira. Na média, as empresas são quatro vezes maiores em termos de matérias-primas transformadas e três vezes maiores em termos de funcionários que a média

brasileira (SIMPESC, 2000). As indústrias do estado estão concentradas basicamente em três segmentos: embalagens, produtos para construção civil e descartáveis. O segmento de moldagem por injeção é responsável por 17,2% da matéria-prima processada no estado. Apenas 5,1% da matéria-prima consumida pelos transformadores de resinas plásticas é empregada para a confecção de componentes técnicos, em sua maioria injetados (SIMPESC, 2000). Entretanto, se for tomado o valor da produção, os componentes técnicos representam 10,6% do valor total da produção de produtos de plástico em Santa Catarina, ficando evidente o quanto este segmento agrega valor à matéria-prima consumida. Em contrapartida, o segmento de componentes técnicos em Santa Catarina é o de menor produtividade por funcionário, considerando a quantidade de matéria-prima processada. Contudo, importa a este segmento a tecnologia e o conhecimento que agregam valor aos produtos, mais do que a produtividade por funcionário, considerando ainda o foco na especialização de produtos, o que é próprio deste segmento (SIMPESC, 2000). Disto resulta que, diferente de segmentos como o de embalagens e o de descartáveis, o segmento de componentes técnicos, em sua maioria injetados, possui foco centrado mais no produto do que na produção, evidenciando a necessidade de adoção não só de técnicas de produção avançadas, mas também de sistemáticas eficientes de desenvolvimento de produto. A tabela 1.4 mostra a importância relativa do processo de injeção dentro do setor de transformação do plástico em Santa Catarina.

Tabela 1.4 - Dados comparativos entre os processos de transformação do plástico em Santa Catarina.

Processo	Matérias-primas (% processado)	Empregos (%)	Valor da Produção (%)	Empresas (%)
Extrusão e Termoformagem	72,4	63,2	66,0	50,3
Injeção	17,2	19,7	20,6	27,6
Sopro	1,8	4,1	2,1	5,0
Reciclagem	3,7	2,0	2,5	4,0
Outros	4,8	11,0	8,9	13,1

Fonte: Plástico SC - (SIMPESC, 2000).

A quantidade de matérias-primas em toneladas processadas em Santa Catarina pelo processo de injeção no ano de 1999 foi 3,2% maior que a verificada em 1995. O segmento teve um aumento de 5,2% no número de pessoas empregadas e aumentou o valor da produção em 2,1% no mesmo período (SIMPESC, 2000). Contudo, de todos os processos de transformação de resinas, somente o segmento de injeção teve perdas de produtividade no período entre 1995 e

1999 em Santa Catarina.

1.1.3 Caracterização do Setor de Transformação de Materiais Plásticos Através da Moldagem por Injeção

O setor de moldagem de materiais plásticos através do processo de injeção é caracterizado pela segmentação dos processos de desenvolvimento e fabricação de produtos, com a participação de mais de uma empresa, cada uma sendo especializada e responsável por alguma atividade relacionada. Além disso, o setor relaciona-se com empresas dos setores químico e petroquímico, como consumidor de matéria-prima, e com diversos outros setores produtivos, como fornecedor de produtos e bens intermediários. O setor também produz bens de consumo final, principalmente para os segmentos de utilidades domésticas e brinquedos. É uma indústria intensiva em mão de obra, responsável pela fabricação de uma vasta gama de produtos, de diversos tamanhos, complexidade e conteúdo tecnológico. A complexidade da cadeia produtiva que envolve o setor está resumida na figura 1.1.

Segundo o Diagnóstico da Competitividade da Indústria de Produtos de Matérias Plásticas do Estado de Santa Catarina (BRDE, 1997), o setor é receptor de inovação tecnológica, diferente dos setores produtores de matéria-prima ou resinas plásticas. Isto significa que, a demanda por inovação do setor de transformação através do processo de injeção é suprida, em grande parte, pelo setor responsável pelo fornecimento da matéria-prima e também de máquinas para a produção. Além disso, ao associar-se como fornecedor de outros setores, principalmente a indústria de eletroeletrônicos e o setor automotivo, setores tipicamente inovadores ou motores da inovação, recebe também transferência de tecnologia por esta via. Desta forma, sua capacidade de inovação é condicionada ao uso da matéria-prima, ao domínio do processo de produção e das características técnicas incorporadas ao produto, o que determina a necessidade de interação entre os diferentes agentes produtivos (BRDE, 1997).

Conforme verificado pelo Diagnóstico da Competitividade da Indústria de Produtos de Matérias Plásticas do Estado de Santa Catarina (BRDE, 1997), as relações técnicas no Brasil estão mais desenvolvidas entre os transformadores de matéria-prima e os fornecedores de equipamentos para produção, que começam a interagir segundo os preceitos da engenharia simultânea, sendo que o relacionamento entre os transformadores e os fornecedores de matéria-prima só é mais efetivo nas grandes empresas fabricantes de produtos injetados.

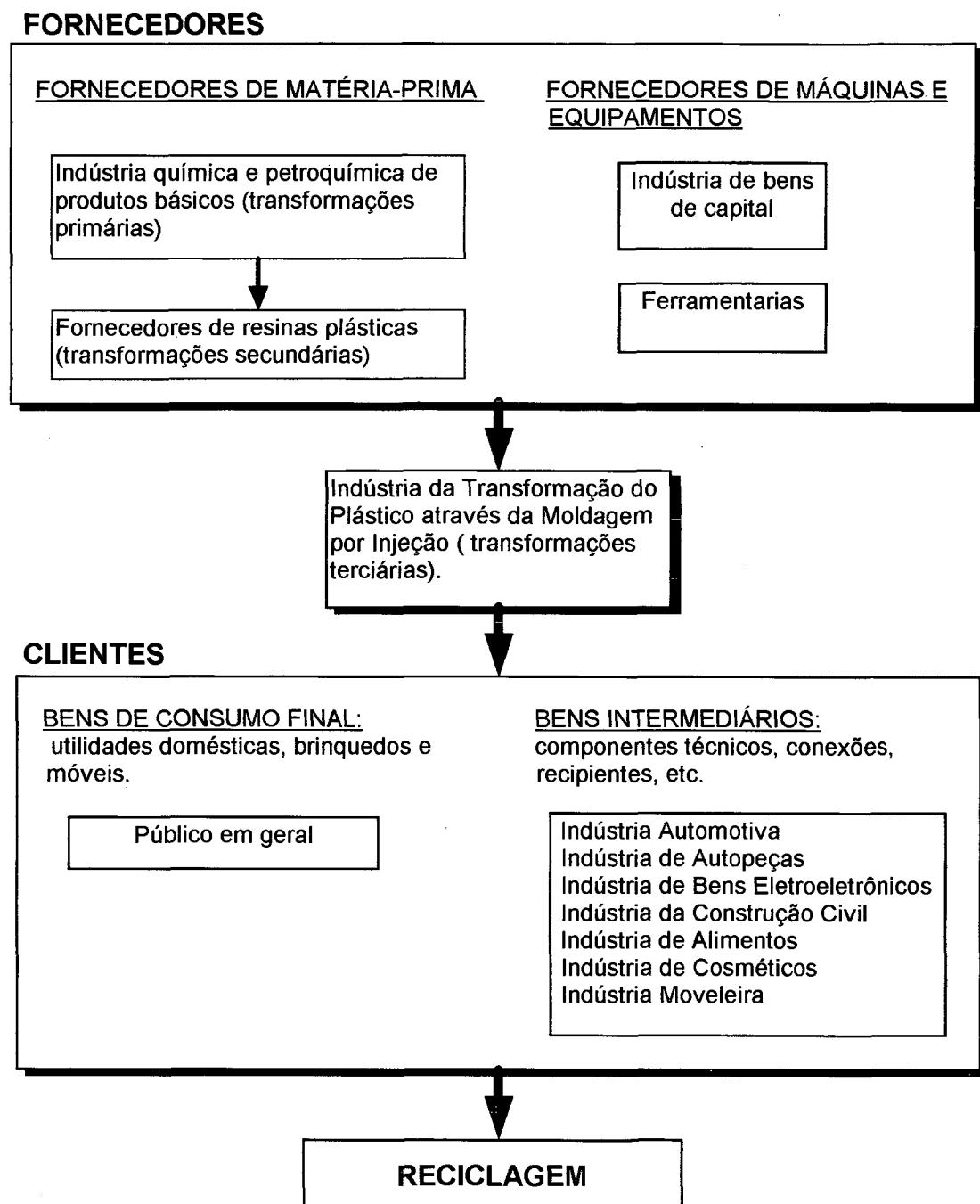


Figura 1.1 - Agentes da cadeia produtiva envolvendo o setor de moldagem por injeção.

A indústria de produtos de matérias plásticas tem o seu padrão de competição fundado em preço, embora cada mercado tenha suas próprias especificidades, podendo fazer o padrão de competição variar, dando maior ou menor importância a atributos como conformidade às especificações técnicas, prazo de entrega, identificação com a marca, conteúdo tecnológico, dentre outros. O estudo da competitividade da indústria em Santa Catarina (BRDE, 1997) assinala, ainda, que as capacitações mais requeridas para o conjunto da indústria de matérias plásticas são em máquinas e em desenvolvimento de produto. A tabela 1.5 resume os padrões de

concorrência, ou fatores críticos de competitividade, dos principais segmentos da indústria de transformação do plástico.

Tabela 1.5 - Fatores críticos de competitividade (BRDE, 1997).

Segmento de Produto	Descartáveis	Utilidades Domésticas e Brinquedos	Componentes Técnicos	Comp. para Móveis e Móveis	Construção Civil
Fonte de Vantagem Competitiva	Custo	Diferenciação e Custo	Tecnologia e Qualidade	Custo e Qualidade	Custo e Qualidade
Fatores Internos às Empresas	Máquina	Desenvolv. de Produto	Máquina e Desenvolv. de Produto	Desenvolv. de Produto e Organização da Produção	Máquina
Fatores Relacionados ao Mercado	Segmentação por tipo de produto Preço Nacional	Diferenciação Preço e adequação ao uso Local// Internacional	Segmentação por necessidade técnicas Atendimento às especificações do cliente Local/Global	Segmentação por classe social e por tipo de produto Preço Local	Segmentação por tipo de produto Preço Regional/ Nacional
Fatores Relacionados à Configuração da Indústria	Economia de escala	Economia de escopo	Economia de aglomeração Formação de redes verticais e horizontais	Economia de escopo Formação de redes verticais e horizontais	Economia de escala

Modelo sugerido por Ferraz, Kupfer e Haguenaer.

Os segmentos com maior presença do processo de moldagem por injeção são o de componentes técnicos e o de utilidades domésticas e brinquedos, e são aqui enfatizados. Os demais segmentos são mostrados na tabela 1.5 para fins de comparação.

O segmento de componentes técnicos tem como necessidade básica o desenvolvimento da tecnologia e do produto, produzindo bens com elevado valor adicionado e qualidade. Deve dominar o uso das matérias-primas e dos *grades* derivados, assim como as variáveis do processo de fabricação. Por produzir bens intermediários, tem o atendimento às especificações dos clientes como vantagem competitiva e, na maioria das vezes, condição indispensável. Deve seguir rigorosamente as especificações técnicas de produtos e seguir procedimentos normatizados. O segmento deve visar não só o mercado local mas também o mercado global, visto que os seus produtos são indiretamente exportados como componentes, principalmente em automóveis e eletroeletrônicos. Segundo o Diagnóstico da Competitividade da Indústria de Produtos de Matérias Plásticas do Estado de Santa Catarina (BRDE, 1997), as estratégias competitivas do setor têm base no atendimento às especificações técnicas, no prazo de entrega, na durabilidade e

na capacidade de operar a engenharia simultânea.

Preço e desenvolvimento de produtos são as bases competitivas para o segmento de utilidades domésticas e brinquedos. As capacitações requeridas são inovação e diferenciação do produto e a produção. As estratégias competitivas têm base principalmente no prazo de entrega e no conteúdo tecnológico dos produtos. Embora o sucesso competitivo do setor seja determinado pela rapidez no desenvolvimento de novos produtos e na diferenciação, o Diagnóstico da Competitividade da Indústria de Produtos de Matérias Plásticas do Estado de Santa Catarina (BRDE, 1997) constatou que não é dado destaque para o tempo de desenvolvimento de produto dentre as empresas pesquisadas. Segundo o diagnóstico, o tempo de desenvolvimento é particularmente importante em brinquedos, devido a forte concorrência dos artigos importados.

Disto resulta que, embora custos seja uma variável competitiva de importância também para o segmento de componentes injetados, a sua importância relativa não é a mesma verificada em segmentos de produção em massa de produtos com baixo conteúdo tecnológico, como a extrusão. Da mesma forma, a capacitação para o desenvolvimento de novos produtos e novas tecnologias tem uma importância relativa maior em produtos obtidos pelo processo de injeção, principalmente componentes técnicos e, em menor grau, brinquedos e utilidades domésticas. O setor também é intensivo em inovação, sendo que a necessidade de diferenciação do produto que impera em muitos casos, assim como as exigências por parte dos clientes pertencentes a setores altamente competitivos, requerem, cada vez mais, rapidez no desenvolvimento de novos produtos, o que inclui também o projeto e a fabricação do molde.

Em resumo, como características do setor de moldagem do plástico através do processo de injeção, e em especial, do segmento de componentes técnicos injetados, pode-se enumerar:

- 1) integram o setor, tipicamente empresas de pequeno e médio porte;
- 2) fabricam produtos com variável nível de complexidade, tamanho e conteúdo tecnológico. Em comparação a outros processos de moldagem do plástico, o valor adicionado e a qualidade dos produtos são maiores, enquanto que os lotes de produção são menores;
- 3) participam da cadeia produtiva de setores altamente competitivos, como os setores automotivo e de eletroeletrônicos;
- 4) sofrem pressões para a redução dos prazos de entrega e para o aumento e controle da qualidade;
- 5) possuem foco na qualidade e na diferenciação do produto, mais do que no aumento da produtividade da produção;
- 6) o processo de desenvolvimento e fabricação de produtos é segmentado, com o envolvimento

de organizações distintas;

- 7) é receptor de inovação tecnológica, sobretudo dos fornecedores de matérias-primas e máquinas para a produção;
- 8) adotam estratégias competitivas com base em prazos de entrega, durabilidade e atendimento às especificações técnicas e na capacidade de pôr em prática a engenharia simultânea;
- 9) pequena capacidade financeira e tecnológica por parte das empresas de pequeno e médio porte para capacitação.

O estudo de PERERA (1997) sobre a estrutura organizacional da indústria de moldagem por injeção aponta para características semelhantes. O autor observou o seguinte:

- 1) o setor é fragmentado, ou seja, os projetos e a produção não são conduzidos completamente por uma mesma empresa. Existem empresas especializadas em executar determinadas tarefas específicas do processo de desenvolvimento e produção.
- 2) a maioria das empresas são de médio e pequeno porte, com limitações de recursos.

Os depoimentos colhidos nas indústrias do setor (Apêndice 1), confirmam algumas das características enumeradas acima.

As indústrias que fabricam moldes para injetoras, estão sendo consideradas como parte da cadeia produtiva do setor de moldagem por injeção, embora possam ser enquadradas dentro do setor metal-mecânico. Como desempenham papel importante no desenvolvimento de produtos injetados, também deve-se considerar suas características. As observações obtidas junto à empresas fabricantes de moldes para injeção confirmaram as características enumeradas por AHRENS (1994) com base na pesquisa bibliográfica:

- 1) são empresas, em geral, de pequeno e médio porte, que disputam espaço num mercado cada vez mais competitivo;
- 2) muitas das empresas são prestadoras de serviços para terceiros;
- 3) a produção é caracterizada por protótipo ou lote unitário;
- 4) os moldes estão cada vez mais complexos, exigindo uma revisão dos métodos adotados pelo setor, procurando-se evoluir do processo convencional para o assistido por computador;
- 5) são fortes as pressões para que as empresas invistam em modernas tecnologias CNC e CAx, visando melhorias na qualidade e redução nos prazos de entrega dos moldes, pois os clientes contratantes precisam lançar seus produtos no mercado antes de seus concorrentes.

KOIKE (1995) observou ainda que havia, por parte das empresas fabricantes de moldes, resistências com relação à adoção de novas tecnologias. Nas palavras do autor, *“existe uma inércia para iniciar a adoção de sistemas modernos e novas filosofias de trabalho,*

principalmente se a empresa ainda está lucrando e mantendo sua fatia de mercado". Esta característica, entretanto, tem sido revertida nos últimos anos, uma vez que a alta competitividade e o risco de terem seus negócios encerrados devido ao espaço de mercado ocupado pela concorrência, obrigam a adoção de políticas mais ousadas (DIHLMANN, 1998).

1.1.4 Tendências Futuras

Na opinião de especialistas, o crescimento acentuado da indústria de produtos de plástico injetados é uma tendência que deve ser confirmada nos próximos anos, apesar das oscilações no preço do petróleo (HEINEMANN, 1999). Os fatores anteriormente citados, que impulsionaram o crescimento do setor nos últimos cinquenta anos, também apresentam tendência de crescimento, o que confirma as boas expectativas para o setor em nível mundial.

Segundo o Diagnóstico da Competitividade da Indústria de Produtos de Matérias Plásticas do Estado de Santa Catarina (BRDE, 1997), o setor de transformação de matérias plásticas em geral tem boas perspectivas de crescimento, podendo crescer tanto nos produtos com maior conteúdo tecnológico, quanto nos produtos mais simples e de menor preço. O consumo de material plástico per capita vem aumentando a cada ano no Brasil, e a tendência é continuar evoluindo em ritmo acelerado, reduzindo-se a diferença com relação ao consumo verificado em países desenvolvidos. Em 1994 o consumo per capita do brasileiro era de treze quilos. Em 1999 o consumo alcançou vinte e dois quilos per capita. Considerando que o consumo per capita foi de noventa e oito quilos nos EUA e de oitenta quilos no Canadá no mesmo ano, verifica-se o quanto o mercado brasileiro ainda tem para crescer. De acordo com alguns estudos, o Brasil é uma das maiores fronteiras mundiais para o complexo do plástico, para suas matérias-primas, para os seus produtos e para os seus equipamentos, levando-se em conta a saturação dos mercados nos países desenvolvidos (BRDE, 1997). Por esta razão, cada vez mais investimentos estrangeiros serão atraídos para o país, obrigando a indústria já instalada no Brasil a buscar melhor capacitação tecnológica e gerencial.

Embora grande parte do consumo mundial de plástico seja destinado à fabricação de embalagens e descartáveis, o percentual de produtos obtidos pelo processo de injeção é significativo e também tem crescido.

O Diagnóstico da Competitividade da Indústria de Produtos de Matérias Plásticas do Estado de Santa Catarina (BRDE, 1997), apontou ainda que a competição será crescentemente de base tecnológica, mesmo num setor pouco intensivo em tecnologia, como é o caso do setor de transformação de matérias plásticas no Brasil. O incremento tecnológico se dá não somente pela

pesquisa e aplicação de novos materiais e processos de transformação, mas também desenvolvendo e diferenciando novos produtos. Esta observação implica, segundo o estudo, em dificuldades para a empresa de pequeno porte competir no futuro, visto que a capacitação tecnológica requer capacidade operacional e financeira que estão além das possibilidades da maioria das pequenas empresas. Como alternativa, existe uma grande tendência para a formação de associações cooperativas, que viabilize o acesso a novas tecnologias e que torne maior o poder de negociação das pequenas empresas através do aumento da escala de produção. Segundo depoimentos colhidos na indústria, existe um movimento no sentido da especialização das empresas fabricantes de moldes, para que sejam atendidos de forma exclusiva, por parte de uma determinada empresa, certos setores produtivos.

Quanto à forma de trabalho, pode-se observar hoje, em alguns casos isolados, mas com forte tendência para tornar-se padrão no futuro, a integração dos agentes da cadeia produtiva para a condução do processo de desenvolvimento de produto. Sob esta ótica têm surgido nos últimos anos alguns trabalhos, propostas e experiências que estão reunidos sob as denominações de engenharia simultânea e *co-design*. Para o caso específico do setor de moldagem por injeção, principalmente considerando aqueles produtos mais elaborados, também é forte a tendência para adoção de novas abordagens visando a integração da complexa cadeia produtiva que caracteriza o setor. Montagem do produto final, projeto do componente de plástico injetado, projeto e fabricação do molde, e moldagem, são responsabilidades assumidas, em muitos casos, por empresas distintas. A necessidade de troca de informações e do envolvimento destas especialidades desde as primeiras etapas de projeto, como sugere a abordagem da engenharia simultânea, exige a formação de novas formas de relacionamento e parcerias. Especificamente para o projeto e fabricação de moldes para injeção, é cada vez maior a pressão para que sejam feitos na própria empresa, com o objetivo de reduzir o tempo de desenvolvimento (KAZMER, 1997).

Entre as empresas montadoras de produto final, é forte a tendência em reduzir o número de empresas fornecedoras, buscando a formação de parcerias participativas de longo prazo. Desta maneira, o envolvimento do fornecedor no desenvolvimento do produto é facilitada, fazendo com que a sua participação no projeto do produto seja ampliada e antecipada dentro do ciclo de desenvolvimento de novos produtos. A escolha ocasional de fornecedores, com base sobretudo no custo, tem sido substituída por algumas poucas empresas, sobretudo aquelas pertencentes a setores mais competitivos e inovadores, por esta nova forma de cooperação estratégica. Como conseqüência, os projetos passam a ser elaborados considerando a capacidade e as limitações do

fornecedor, que também contribui com seus conhecimentos para melhorias no projeto.

Da mesma forma que se pensa em envolver os vários responsáveis pelas etapas do ciclo de desenvolvimento do produto desde o início do projeto, as considerações quanto às demais etapas do ciclo de vida devem ser cada vez mais priorizadas pelos projetistas. Deve-se a isto não somente as pressões de um mercado competitivo, mas também as novas e rigorosas leis e normas, sobretudo com relação à preservação do meio ambiente. A preocupação com o descarte e reciclagem do produto, assim como a adoção de materiais reciclados, quando possível, é uma tendência cada vez mais forte entre as empresas de um modo geral. O tema “reciclagem” já é bastante presente entre as empresas do setor de transformação do plástico, sendo que esta preocupação deve ser intensificada no futuro (SEEGERS, 1993).

1.2 JUSTIFICATIVAS

A constatação do grande crescimento da indústria de transformação de matérias plásticas através da moldagem por injeção, impulsionado pelas vantagens do plástico como material alternativo aos materiais tradicionais de construção mecânica, assim como a complexidade do setor e do próprio ciclo de desenvolvimento de componentes injetados, motivou o assunto discutido nesta dissertação.

Soma-se a isto a insipiência dos métodos de trabalho, sobretudo de desenvolvimento de produto, adotados pelo setor, e a necessidade cada vez maior de melhorias no produto e redução no tempo de desenvolvimento.

Do diagnóstico e caracterização do setor de transformação de materiais plásticos através da moldagem por injeção descritos no item 1.1.3, principalmente para o segmento de componentes técnicos injetados, são extraídos os seguintes pontos que determinam o enfoque dado ao estudo do processo de desenvolvimento de componentes de plástico injetados:

- em comparação com outros processos de moldagem do plástico, o valor adicionado e a qualidade dos produtos são maiores no processo de moldagem por injeção, enquanto que os lotes de produção são menores. Como consequência tem-se que as empresas do setor devem dar maior ênfase à qualidade e à diferenciação do produto, em complemento aos esforços feitos no sentido de aumentar a produtividade do processo de produção. Desta forma, o desenvolvimento de produto adquire uma importância relativa maior, tendendo a crescer, sobretudo nos segmentos envolvidos com produtos com maior conteúdo tecnológico;
- as empresas do setor sofrem pressões para a redução dos prazos de entrega e para o aumento e controle da qualidade. Muitas participam da cadeia produtiva de setores altamente

competitivos, como os setores automotivo e de eletroeletrônicos. Para que clientes importantes sejam mantidos, garantindo a própria continuidade das atividades das empresas do setor de transformação do plástico por injeção, modelos de desenvolvimento de produtos e técnicas de vanguarda precisam ser adotados, em sintonia com as melhores práticas de projeto e gerenciamento, permitindo que as empresas acompanhem o dinamismo dos mercados de seus clientes.

- o processo de desenvolvimento e fabricação de produtos é segmentado, com o envolvimento de organizações distintas, o que exige a adoção de abordagens que contribuam no sentido de integrar as organizações envolvidas. Além disso o setor é receptor de inovação tecnológica, sobretudo dos fornecedores de matérias-primas e máquinas para a produção, necessitando de estreita ligação também com seus fornecedores;
- as empresas do setor adotam estratégias competitivas com base em prazos de entrega, durabilidade e atendimento às especificações técnicas e na capacidade de pôr em prática a engenharia simultânea, o que somente pode ser obtido de forma efetiva com melhorias no processo de desenvolvimento de produtos.

As indústrias do setor, embora cientes da importância de incrementar a competitividade de seus produtos, ainda não se preocuparam em estabelecer procedimentos metodológicos visando a racionalização de esforços e insumos despendidos para que sejam obtidos, no menor espaço de tempo, produtos competitivos de alta qualidade a custos reduzidos.

A carência do emprego de metodologias e planejamento durante a etapa de projeto favorece a obtenção de produtos de baixa qualidade, pouco racionais, de custo mais elevado e que muitas vezes não atendem de forma adequada às verdadeiras necessidades dos clientes. Além disso, busca-se com a adoção de metodologias e ferramentas para o auxílio da atividade de projeto, a redução do tempo de lançamentos de novos produtos, o que tem sido um dos fatores mais explorados para determinar a competitividade nos tempos atuais.

Fica, desta forma, flagrante as atuais e futuras necessidades do setor, o que justifica análises e proposições no domínio do desenvolvimento de produtos de plástico injetados que tenham por objetivo o atendimento destas necessidades. Um levantamento bibliográfico preliminar revelou ainda que, ao contrário do que acontece com sistemas técnicos, existem poucas propostas de abordagem para o caso de projeto de componentes. Há, portanto, a necessidade de uma discussão acerca da adequação das metodologias e abordagens de projeto ao caso específico de desenvolvimento de componentes.

Como justificativa adicional, tem-se a necessidade de contribuir com inúmeros trabalhos

que se enquadram dentro das linhas de pesquisas do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina relacionadas com o desenvolvimento e produção de componentes de plástico injetados.

1.3 OBJETIVOS DA DISSERTAÇÃO

Pretende-se, ao fim deste trabalho, propor um modelo sistemático de referência para o processo de desenvolvimento de componentes de plástico injetados, de modo a torná-lo mais eficiente e estruturado, através da incorporação de métodos e práticas das áreas de desenvolvimento de produtos e gerenciamento de projetos. Desta forma, considerando a análise feita na seção 1.1, o modelo proposto deve contribuir com os fatores que determinam a competitividade, especialmente a redução no tempo de desenvolvimento.

Sendo assim, a proposta destina-se mais àqueles segmentos da indústria de transformação do plástico através da moldagem por injeção, envolvidos com mercados onde o padrão de competição é mais elevado.

Considerando as técnicas de projeto agregadas à proposta, tendem a obter maior proveito do modelo de desenvolvimento proposto, as situações de desenvolvimento de produtos mais complexos e com maior conteúdo tecnológico.

OGLIARI (1999) classifica os produtos de plástico injetados em duas categorias: “produto único” e “parte de sistema técnico”. Estas categorias podem ainda ser subdivididas, segundo o autor, em “único componente” e “múltiplos componentes” (figura 1.2). Os produtos de plástico injetados que são parte de sistemas técnicos, ou seja, são componentes de um sistema global, muitas vezes possuem maior complexidade técnica e são destinados a setores mais dinâmicos e competitivos, conforme a descrição feita no item 1.1.3 sobre o diagnóstico do setor. A categoria “parte de sistema técnico”, na classificação feita por OGLIARI (1999) ou simplesmente componente técnico, é, desta maneira, objeto de maior interesse dentro desta dissertação.

Muitos trabalhos têm sido realizados com enfoques particularizados de certos aspectos do processo de desenvolvimento de componentes injetados. Embora estes trabalhos contribuam para a melhora de determinadas atividades ou etapas do processo de desenvolvimento de forma isolada, poucas análises são feitas tendo-se em mente o processo como um todo (visão holística do processo). Isto não contribui para a integração das áreas e conhecimentos envolvidos, da mesma forma que não contribui para a detecção de falhas do processo como um todo. Uma

análise mais abrangente das fortes inter-relações existentes entre os parâmetros de projeto do componente, de projeto e fabricação do molde e do processo de moldagem por injeção, também acaba sendo negligenciada ou prejudicada pela especialização em determinados aspectos do processo de desenvolvimento de componentes moldados por injeção. Buscar-se-á através de uma abordagem mais abrangente, embora menos profunda, esta visão do todo, identificando as inter-relações existentes entre as etapas do ciclo de desenvolvimento e entre os parâmetros relacionados. Acredita-se que, sendo o processo segmentado e com forte grau de interdependência entre as atividades, é possível fazer contribuições através da consideração do processo como um todo e não de etapas isoladas. Objetiva-se, ainda, promover uma maior integração entre as áreas e grupos de trabalho e pesquisa envolvidos com atividades ligadas ao processo de desenvolvimento de componentes de plástico injetados. Portanto, os objetivos que se pretende alcançar são sustentados mais pela abrangência do que pela especificidade dos temas. Dado o seu caráter abrangente, o trabalho tem também a pretensão de identificar e estimular outras pesquisas mais específicas dentro do tema, servindo como base e referência.

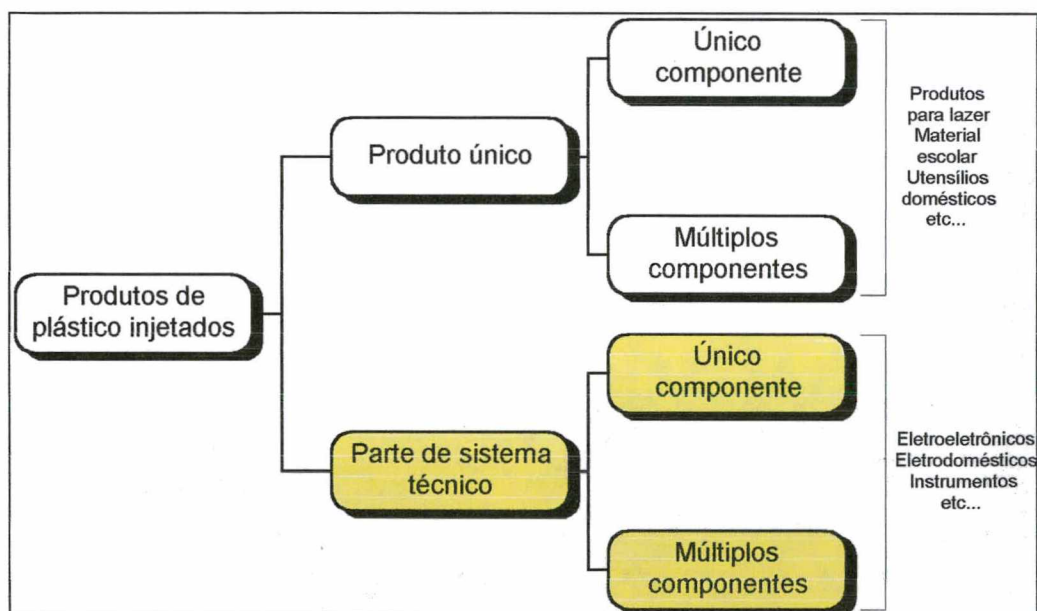


Figura 1.2 - Classificação de produtos de plástico injetados (OGLIARI, 1999).

A proposta a ser estabelecida não será rígida e invariável e, tampouco, será uma receita pronta de como obter produtos ótimos, o que não seria possível dada a enorme quantidade de parâmetros e fatores específicos envolvidos no processo de desenvolvimento de produto. Por ser um modelo de referência, as características e restrições de cada projeto e de cada empresa em particular, implicará em pequenas adaptações, supressões ou adições de elementos ao modelo, já que este tem a pretensão de ser o mais abrangente e genérico possível. Tão importante quanto o

modelo em si, são os conceitos, filosofias e idéias básicas que o sustentam e que devem permanecer, seja qual for a situação de projeto. Busca-se com isso torná-lo aplicável como referência a um maior número de casos dentro do campo de projeto de componentes de plástico injetados.

1.4 CONTEÚDO DA DISSERTAÇÃO

A dissertação é estruturada em seis capítulos, que progressivamente tratam de análises e caracterizações iniciais, levantamento do estado da arte, proposição do modelo de abordagem e estudo de caso da prática do desenvolvimento de componentes de plástico injetados.

O presente capítulo justifica a proposta através da discussão sobre a importante relação entre o processo de desenvolvimento de produto e as novas exigências dos mercados competitivos, do acelerado crescimento do setor de desenvolvimento e produção de produtos de plástico injetados, das características particulares do setor e da necessidade por novas propostas de abordagem para o processo de desenvolvimento de componentes de plástico moldados por injeção.

O Capítulo 2 caracteriza o processo de desenvolvimento de componentes de plástico injetados, através da descrição de suas principais etapas e atividades, além de analisar o grau de inter-relação existente entre os parâmetros de cada uma das etapas, e como estes parâmetros podem afetar o resultado do processo de desenvolvimento, ou seja, o componente injetado. Com esta análise, procura-se tornar evidente a importância de uma maior integração entre os agentes de projeto responsáveis por cada uma das etapas do processo, e como uma abordagem de projeto seqüencial pode causar prejuízos à qualidade do produto e aumentar o tempo de desenvolvimento. O capítulo tem ainda por objetivo, caracterizar o fluxo e a natureza das informações que transitam ao longo do processo.

No Capítulo 3 é feita, inicialmente, uma análise acerca das metodologias de projeto e sua adequação ao projeto de componentes de plástico injetados. O estado da arte das propostas de abordagem para o auxílio na atividade de projeto de componentes moldados por injeção e as novas tendências de abordagem para o processo de desenvolvimento também são tratados ao longo do capítulo.

O Capítulo 4 é um relato e uma análise do estudo de caso que foi conduzido no decorrer dos trabalhos. Muitas das considerações feitas ao longo da dissertação surgiram e tiveram por base as discussões entre os integrantes da equipe multidisciplinar responsável pelo projeto que ilustra o estudo de caso, as situações reais de projeto vivenciadas e a aplicação prática de

métodos e técnicas de desenvolvimento de produto e gerenciamento de projetos ao estudo de caso. As observações e análises obtidas com o estudo de caso descrito, constituem-se um importante subsídio para o modelo sistemático de desenvolvimento apresentado no Capítulo 5.

O Capítulo 5 apresenta inicialmente as bases do modelo de abordagem para o processo de desenvolvimento de componentes de plástico injetados que está sendo proposto. Na seqüência, a estrutura da proposta é apresentada e detalhada ao nível de suas etapas e principais tarefas. Uma discussão com relação à possível execução das tarefas do processo de forma simultânea é feita no final do capítulo, tendo-se por base as etapas da proposta e o fluxo de informações existente entre elas.

O Capítulo 6 encerra o corpo principal da dissertação, tecendo as conclusões finais e apresentando recomendações para trabalhos futuros.

CAPÍTULO 2

DESENVOLVIMENTO E PRODUÇÃO DE COMPONENTES DE PLÁSTICO INJETADOS

2.1 INTRODUÇÃO

Para desenvolver uma teoria de projeto deve-se primeiro examinar os fundamentos dos sistemas técnicos e os procedimentos (PAHL e BEITZ, 1996). Este capítulo tem por objetivo reunir alguns fundamentos do processo de desenvolvimento de componentes de plástico injetados, incluindo o projeto do molde, de forma resumida, uma vez que é vasto o material bibliográfico disponível com este fim. A razão para que estes assuntos sejam tratados dentro desta dissertação, é deixar claro o quanto o projetista do componente precisa preocupar-se com as etapas do ciclo de vida do componente, e o impacto que isto representa sobre as condições de projeto e fabricação do molde, processamento do material e serviço do componente. As informações contidas neste capítulo também servirão de base para a estruturação da proposta de um procedimento para o desenvolvimento de componentes moldados por injeção.

Inicialmente procura-se caracterizar o processo de desenvolvimento de componentes de plástico injetados, tal como é executado na prática. As seções seguintes tratam da seleção do material, do projeto do molde e do processo de moldagem por injeção, buscando-se caracterizar a relação existente entre os parâmetros de projeto do componente e os parâmetros de projeto do molde e do processo de moldagem. Parte-se do pressuposto que existem fortes relações entre função, forma do componente, material selecionado e o processo de injeção. ASHBY (1992) observa que a função determina a escolha do material, enquanto que a forma é determinada para desempenhar a função usando o material selecionado. O processo de produção é influenciado pela escolha do material, ao mesmo tempo em que determina características e qualidade do produto.

2.2 ASPECTOS DO PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE COMPONENTES DE PLÁSTICO INJETADOS

2.2.1 Identificação dos Clientes de Projeto

A determinação dos clientes de projeto facilita a identificação das necessidades associadas à cada um dos clientes ou grupo de clientes. Embora o termo “cliente” esteja bastante associado ao cliente consumidor, dentro da teoria de projeto o termo assume uma conotação mais ampla. Neste texto, são considerados como clientes de projeto, as pessoas ou organizações que estão ativamente envolvidas com o projeto, ou cujos interesses podem ser positivamente ou negativamente afetados com os resultados da execução ou com a finalização do projeto (PMI Standards Committee, 1996). Sob esta ótica, normalmente os clientes de projeto são classificados como clientes internos e clientes externos. Os clientes internos são aqueles envolvidos com o desenvolvimento e a produção do produto, podendo pertencer à organização responsável pelo projeto do produto ou sendo subcontratados. Pertencem à este grupo, por exemplo, a própria equipe de projeto, a manufatura e o departamento de *marketing*. Os clientes externos não estão envolvidos com o projeto, mas serão afetados pelas decisões tomadas durante o projeto, ou em outras palavras, pela qualidade, custo e desempenho do produto. São exemplos de clientes externos, a empresa distribuidora do produto, o comerciante responsável pela comercialização, a rede de assistência técnica e o consumidor ou usuário.

Um conjunto mínimo de clientes de projeto de produtos de plástico injetados e algumas necessidades típicas associadas, foram compilados por OGLIARI (1999). Segundo o autor, são clientes de projeto de produtos de plástico injetados: o público em geral, os usuários do produto, os comerciantes, os fornecedores de matéria-prima, o projetista do produto, o engenheiro de produção, os vendedores, os consultores de projeto, o projetista do molde e o engenheiro de processo. No caso específico de projeto de componentes deve-se acrescentar ao conjunto de clientes de projeto, a empresa ou a equipe de projeto responsável pelo sistema técnico no qual será montado o componente (cliente contratante). Com base nos clientes de projeto, pode-se estabelecer também, uma equipe mínima de pessoas envolvidas com o desenvolvimento de componentes de plástico injetados e sua relação com os clientes de projeto, conforme a tabela 2.1.

Recomenda-se que, para todo projeto, seja feita a análise e a caracterização dos clientes internos e externos envolvidos, procurando relacionar as correspondentes necessidades. É também uma forma de considerar, desde as primeiras etapas de projeto, as necessidades, os

requisitos e os parâmetros relacionados com o ciclo de vida do componente, facilitando ainda a condução do projeto dentro dos preceitos da engenharia simultânea e do projeto para manufatura.

Tabela 2.1 - Equipe mínima de desenvolvimento de componentes de plástico injetados e relação com os clientes de projeto (adaptado de OGLIARI, 1999).

Elementos da equipe de desenvolvimento do componente	Cientes de projeto	Características
Contratante	Público em geral Usuários do sistema técnico Comerciantes Vendedores	Pessoa ou profissional responsável pelas manifestações de interesse sobre determinado produto ou problema de projeto, principalmente aquelas oriundas do mercado consumidor.
Projetista do componente	Contratante Projetista do molde Engenheiro de produção do componente	Profissional responsável pelo projeto do componente.
Projetista do molde	Projetista do componente Engenheiro de produção do componente Responsável pela fabricação do molde	Profissional responsável pela condução do projeto do molde e pelas restrições no projeto do componente injetado, visando à facilidade de fabricação e baixos custos do molde.
Engenheiro de produção do componente	Projetista do componente	Profissional responsável pela injeção do componente de plástico, disponibilizando-o para a entrega.

2.2.2 Abordagem de Projeto de Componentes Praticada pelas Indústrias do Setor

Tradicionalmente, o projeto de componentes de plástico injetados tem sido conduzido de uma forma seqüencial e com o envolvimento de mais de um grupo de responsáveis (departamentos ou empresas distintas) pelas fases que compõem o seu ciclo de desenvolvimento. Cada grupo é responsável pelas atividades pertencentes ao seu domínio de conhecimento.

Conforme visto no item 1.1.3, sobre a caracterização do setor, em grande parte dos casos o molde onde será injetado o componente é projetado e fabricado por empresas especializadas neste tipo de trabalho. Ou seja, o molde não é projetado e fabricado pela mesma empresa responsável pelo projeto do componente. Como implicação disto, tem-se que normalmente há a necessidade do envolvimento de uma segunda empresa para possibilitar o início do processo de produção do componente. Algumas empresas do setor disponibilizam suas máquinas injetoras para a injeção de produtos projetados por terceiros. De outro modo, a injeção do componente pode ser feita pela mesma empresa que projetou a peça, mas mesmo neste caso, o departamento responsável pela fabricação da peça é o departamento de produção que, via de regra, atua de forma dissociada do departamento de desenvolvimento de produto. Esta

segmentação do setor caracterizada no item 1.1.3, estimula a adoção de uma abordagem de projeto seqüencial, devido às dificuldades de integração e comunicação entre as empresas responsáveis pelo projeto do componente, projeto e fabricação do molde e produção do componente.

A motivação para o projeto surge da necessidade de um novo componente para um sistema técnico ou da necessidade de reduzir custos, peso ou melhorar o desempenho funcional, através da substituição do material utilizado em um determinado componente por plástico. No caso de produtos em geral, a demanda por um novo produto é normalmente identificada pelo departamento de *marketing*, que determina as características básicas que um produto deve ter para satisfazer as necessidades de mercado, fixando também um custo meta e a participação no mercado pretendida. No caso de componentes de plástico injetados, é comum que a necessidade parta do cliente contratante, que comunica a demanda por um novo componente. Estas informações são repassadas ao departamento responsável pelo desenvolvimento de produto, tornando-se este o responsável pela modificação ou pelo projeto de um novo componente. O objetivo do projetista é satisfazer os requisitos de projeto, dentro do menor custo, pensando em reduzir, ou mesmo eliminar, problemas que podem ocorrer durante a produção ou a utilização do componente, através de uma definição detalhada do produto.

Com algumas restrições de projeto, e tendo em mente as necessidades anteriormente detectadas, o projetista passa a conduzir o projeto do componente com base na sua experiência em projetos anteriores de mesma natureza. Técnicas e metodologias de projeto são raramente empregadas, sendo que o projetista apoia-se mais em recomendações de projeto obtidas com a experiência, ditadas por fornecedores de matérias-primas ou colecionadas em manuais. Estas recomendações, ou regras de projeto, são bastante genéricas e não podem prever cada situação de projeto em particular. Por esta razão, deve-se tomar cuidado com o emprego sem critério de regras de projeto, pois não devem ser seguidas em situações específicas onde implicam em efeitos negativos sobre a qualidade, custos e funcionalidade do componente ou do sistema onde será montado (BOOTHROYD *et al.*, 1994). Algumas vezes, o não cumprimento de uma regra de projeto pode significar até mesmo um melhor resultado para o projeto (BELOFSKY, 1995). Para DEWHURST (1988), o simples atendimento das regras de projeto, leva a soluções pouco elegantes e com alto custo de montagem. Portanto, as regras de projeto não são suficientes para garantir um bom resultado, uma vez que não são capazes de considerar a situação particular de cada projeto e das empresas envolvidas. São, contudo, um auxílio para o projetista, e devem ser observadas criticamente. A título de ilustração, o Apêndice 2 e a tabela 2.2 reúnem as regras de

projeto usualmente encontradas na literatura. Nas várias fontes pesquisadas, as regras repetem-se, com o eventual aparecimento de algumas contradições e discrepâncias nos valores recomendados para dimensões, conforme pode ser observado na tabela 2.2, comparando-se os valores recomendados por três autores. É importante salientar que os números apresentados na tabela 2.2 são representativos, e podem variar conforme o material plástico empregado.

Tabela 2.2 - Valores para recomendações de projeto mais freqüentes.

Característica Geométrica	Segundo Rosato e Rosato (1987)	Segundo Gordon (1993)	Segundo Malloy (1994)
Raio de arredondamento mínimo	0,5 mm	1/2 da espessura da parede adjacente	0,4 mm
Ângulo de saída mínimo	0,5° a 1°	0,5°	0,25° a 2°
Espessura da nervura	2/3 da espessura da parede adjacente	2/3 da espessura da parede adjacente	2/5 - 4/5 da espessura da parede adjacente
Raio de concordância em nervuras	0,65 - 1,00 mm	1/4 da espessura da parede adjacente	1/4 - 2/5 da espessura da parede adjacente
Ângulo de saída mínimo para nervuras	0,25°	0,5°	0,5°
Espessura de parede em torno de um inserto	1,75 a 2 vezes o diâmetro do inserto	2,5 vezes o diâmetro do inserto	-

O projeto do componente segue, então, uma seqüência típica de seleção de material, definição e representação da geometria em sistema CAD, fabricação do protótipo e testes. A simulação numérica da moldagem através de um sistema CAE é uma técnica que têm sido pouco adotada na prática de projeto. O projeto do componente fica desta forma definido, sem a efetiva participação dos responsáveis pelas etapas subseqüentes de projeto e fabricação do molde e de produção do componente.

A tarefa seguinte à conclusão do projeto do componente é realizada normalmente pelo setor de compras, e consiste na seleção da empresa responsável pelo projeto e fabricação do molde. A seleção é feita principalmente em função de custos e prazos de entrega oferecidos, sendo estes estimados com base no desenho detalhado do componente. A empresa fabricante do molde selecionada trata então de rever o projeto do componente, passando a fazer sugestões de modificação para que sejam atendidas as necessidades de fabricação do molde e também do processo de injeção, com base na experiência e, em alguns casos, em análises da moldabilidade em sistema CAE. Em outras palavras, solicita ao projetista do componente que faça algumas alterações no projeto original, visando reduzir custos e facilitar ou mesmo viabilizar a fabricação do molde e a injeção do componente. As alterações podem ser tão significativas que, algumas vezes, torna necessário a revisão do contrato com relação a prazos de entrega do molde e custos.

Somente após a atualização do projeto da peça, segundo as sugestões feitas pelo fabricante do molde, tem início o processo de projeto e fabricação do molde. Após ser fabricado e aprovado pelo cliente, o molde segue para a empresa ou para o setor responsável pela produção do componente, que também é informado sobre as características do componente. Com estas informações, tem início a execução dos ajustes dos parâmetros de injeção e o processo de produção do componente. Caso o setor de produção identifique algum problema significativo na geometria da peça, não só o projeto do componente tem que ser revisto, como o molde tem que ser alterado ou até mesmo substituído, o que implica em atrasos na produção e custos adicionais. Os responsáveis pelo processo de moldagem têm muita informação sobre o comportamento dos materiais plásticos, informações estas que muitas vezes não chegam aos responsáveis pelo projeto do componente. A figura 2.1 representa a seqüência típica seguida durante o processo de desenvolvimento de um componente injetado e as barreiras existentes entre os responsáveis por cada uma das etapas do processo.

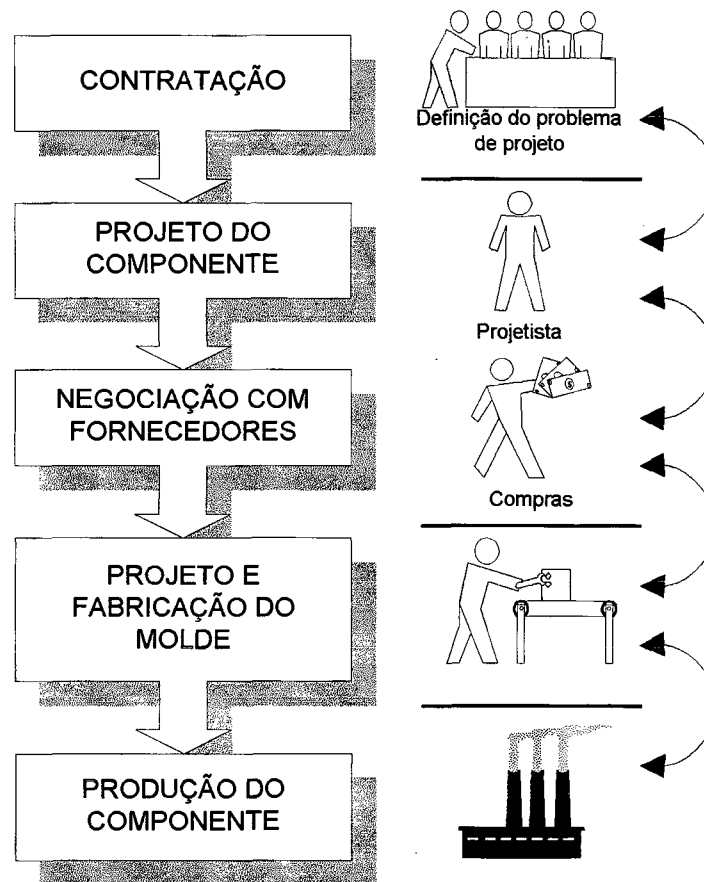


Figura 2.1 - Processo tradicional de desenvolvimento de componentes de plástico injetados: segmentado e com barreiras inter-organizacionais.

Esta seqüência e segmentação do processo parece ser padrão no Brasil e em outros países, com pequenas variações, considerando dados colhidos em empresas no Brasil e na Alemanha, e com base em trabalhos descrevendo o setor nos Estados Unidos (MANISCALCO, 2000; WOOD, 2000; GOLDSBERRY, 2000; EASTMAN e SMITH, 1996) e na Austrália (PERERA, 1997).

Independente do nível tecnológico e da complexidade, o ciclo de desenvolvimento de um componente injetado é bastante longo e requer a aplicação de várias áreas do conhecimento. Apesar da efetiva comunicação e do entendimento entre os envolvidos com o projeto do componente serem de vital importância, problemas de comunicação e entendimento são inevitáveis dentro da sistemática padrão atual de desenvolvimento de produto, o que também leva a um maior tempo de desenvolvimento e à obtenção de produtos ineficientes e de baixa qualidade, além de tornar o processo de desenvolvimento mais complicado, repetitivo e caro (PERERA, 1997).

As etapas de definição da geometria, seleção do material, projeto e fabricação do molde, e produção do componente, são tratadas em maiores detalhes nas seções seguintes, sob o enfoque do grau de inter-relação que existe entre estas etapas.

2.3 DEFINIÇÃO DO CONCEITO E DETALHAMENTO DO PROJETO

MAFFIM (1998) verificou que para o processo de desenvolvimento, o padrão na indústria é seguir duas etapas, a geração do conceito e o detalhamento. No caso de produtos mais complexos o autor assinala ainda uma terceira etapa: o projeto preliminar, onde é realizado um refinamento do conceito de projeto e estabelecido requisitos para os subsistemas relacionados. A definição do conceito do componente ocorre a partir da leitura das especificações de projeto, definidas segundo as necessidades dos clientes. As especificações de projeto consideram, conforme o objeto de projeto, questões como resistência mecânica, condições do ambiente de serviço, requisitos dimensionais, de estética e conformidade com normas, além de aspectos econômicos como escala de produção e custo máximo. O método através do qual o conceito do produto é gerado não é bem definido pelas empresas, sendo um procedimento que varia em função do projetista, do projeto e da empresa. O mesmo foi observado por Shah (Shah *apud* PERERA, 1997).

CHIN e WONG (1996) observaram que, especificamente para o projeto conceitual de componentes de plástico injetados, existe uma deficiência quanto à geração e avaliação de princípios de solução caracterizada por: consideração de poucas alternativas de concepções,

critérios de avaliação de projeto pouco eficazes com relação ao julgamento sobre a facilidade de fabricação e aos custos de produção, e desconsideração das inter-relações existentes entre o projeto do componente, o projeto e a fabricação do molde, e o processo de moldagem.

No caso de projeto de componentes de um modo geral, os requisitos dimensionais são sempre observados, em função da necessidade da montagem em sistemas técnicos, sendo freqüente o emprego de tolerâncias dimensionais. Dimensões críticas, acabamento superficiais, planicidade e outros requisitos de qualidade devem ser especificados com tolerâncias adequadas, buscando-se um compromisso entre a qualidade do componente e os custos de fabricação.

O conceito do produto vem sendo tratado como características geométricas que o componente deve ter para que sejam atendidas as especificações de projeto. Normalmente, os responsáveis pela etapa de projeto conceitual são especializados em resolver o problema de projeto com base no desempenho funcional e estrutural do componente. O projetista do produto tem suas maiores preocupações voltadas para satisfazer os requisitos funcionais, esquecendo-se dos demais requisitos do ciclo de vida (PERERA, 1997). Algumas vezes, as características geométricas são definidas com base em formas típicas de produtos de plástico injetados e nas recomendações de projeto que visam facilitar a fabricação do molde e o processo de injeção, como as relacionadas no Apêndice 2. Estas recomendações de base empírica, obtidas junto a fornecedores de matérias-primas e em manuais de projeto, nem sempre são de conhecimento do projetista e, caso sejam conhecidas, são as únicas preocupações do projetista com relação à fabricação do molde e do componente. Apenas com a observação das regras de projeto, pode-se constatar o quanto pequenos detalhes definidos durante o projeto do componente, podem influenciar na etapa de fabricação do molde e na qualidade e produção do produto injetado.

Com base nestas regras e na experiência, o conceito (formas principais do componente) é definido sem maiores preocupações com as etapas subseqüentes do ciclo de desenvolvimento, muitas vezes já com o emprego de um sistema CAD. O projeto passa então, sem maiores análises, para o detalhamento, quando são definidas as dimensões e tolerâncias finais e preparados os documentos ou desenhos técnicos para produção.

Quando necessário são feitas ainda análises de comportamento mecânico, embora o emprego de programas para a simulação e análise de tensões ainda não está muito difundido entre os projetistas de componentes moldados por injeção. Como já mencionado anteriormente, a análise e simulação do preenchimento da cavidade do molde através de sistema CAE tem sido mais empregada como uma ferramenta para resolver problemas da produção.

O projeto de componentes de plástico injetados requer algumas considerações específicas.

No caso de componentes submetidos a um carregamento mecânico considerável, o projetista deve considerar as propriedades e comportamento mecânico típicos dos plásticos e as condições de serviço. O fenômeno de fluência, desprezado no caso do emprego em temperatura ambiente de outros materiais, como os metais, deve ser considerado no projeto de componentes de plástico submetidos a um carregamento durante um longo período de tempo. MALLOY (1994) salienta que as condições do ambiente de serviço também devem ser consideradas durante o projeto, uma vez que as propriedades dos materiais poliméricos são bastante sensíveis às condições ambientais. É importante considerar a temperatura de serviço, umidade relativa e presença de substâncias químicas e radiação. As condições do ambiente de montagem e armazenagem também devem ser consideradas.

2.4 SELEÇÃO DE MATERIAIS PLÁSTICOS

Muitas vezes, ao escolher o material, considera-se o vasto universo das resinas disponíveis, incluindo termoplásticos e termorrígidos, homopolímeros e copolímeros, polímeros amorfos e semicristalinos, seus respectivos *grades*, com ou sem a adição de aditivos. É comum, ainda, que ocorram variações nas propriedades de um mesmo material, conforme a origem do fornecimento. Variações podem ocorrer, mesmo quando uma determinada resina é produzida por um mesmo fornecedor dentro de um processo de manufatura contínua (GORDON, 1993). Devido a isto, o processo de seleção requer um profundo conhecimento dos materiais disponíveis no mercado, além de conhecimentos sobre as condições de serviço da peça e dos efeitos causados pelo processamento sobre o material. A fim de facilitar o processo de seleção, existe uma interação, tendendo a ser cada vez maior, entre grandes empresas fabricantes de componentes de plástico injetados e as indústrias fornecedoras de resinas. Em alguns casos, estes fornecedores não só auxiliam na seleção do material, como também em outros aspectos do projeto do componente, como forma de complementar seus serviços.

A seleção do material tem grandes implicações, uma vez que existe uma grande dependência entre as propriedades do material, o processo de fabricação (processo escolhido e parâmetros de processo), as características geométricas do produto, custos envolvidos, qualidade da peça obtida e processos de acabamento.

Para dar suporte à tarefa de seleção de materiais plásticos, não existe nenhuma sistemática que garanta a escolha do material ótimo para uma determinada condição de projeto. Existem, entretanto, algumas diretrizes básicas que podem orientar e facilitar a escolha do melhor material. Para BELOFSKY (1995), a seleção do material deve ser feita prioritariamente com base

nos requisitos funcionais do componente, sendo que posteriormente devem ser considerados outros critérios de seleção, tais como, custo de aquisição do material, custo e facilidade de processamento do material, facilidade para a reciclagem, facilidade de aquisição e conformidade com normas. O autor sugere um procedimento de seleção com base na hierarquização dos materiais candidatos segundo o atendimento aos requisitos funcionais de projeto. Na proposta do autor, os materiais são dispostos numa tabela, e os valores para as principais propriedades são relacionados com cada um dos materiais. Através de comparações, identifica-se aqueles que melhor atendem aos requisitos funcionais do projeto. A seleção definitiva do melhor material considera os outros aspectos como custos e facilidade de processamento. Alguns materiais comportam-se de forma diferente, conforme o material empregado para a fabricação do molde e o acabamento superficial (SHAFER, 1999). Dos materiais selecionados por atenderem aos requisitos funcionais, são eliminados primeiramente aqueles com maior custo de aquisição e menor facilidade de processamento. Para a decisão final pode ser necessário a confecção de protótipos e experimentos estatísticos.

MALLOY (1994) propõe um processo de seleção semelhante, estabelecendo um conjunto de três passos até que o material seja selecionado:

- 1) Triagem de materiais: é feita com base na comparação entre as propriedades requeridas para o material e aquelas contidas em um banco de dados de propriedades de vários materiais. É recomendável que sejam selecionados mais de um material (de três a seis), para que sejam considerados de forma preliminar. Dada a enorme quantidade de materiais disponível, a seleção deve ser feita inicialmente considerando as propriedades que não podem ser melhoradas com artifícios de projeto, como coeficiente de expansão térmica, índice de transparência e resistência química. Este critério elimina, já de início, uma série de materiais que não poderão ser considerados, reduzindo o número de materiais candidatos. Todavia, deve-se lembrar que variações de forma podem melhorar muito o comportamento mecânico do componente, a despeito das propriedades intrínsecas dos materiais.
- 2) Projeto do componente conforme os materiais selecionados: diferentes geometrias são concebidas em função das propriedades dos materiais preliminarmente selecionados. Por exemplo, a espessura de parede é determinada em função da rigidez e da viscosidade à temperatura de injeção.
- 3) Seleção final do material: um material é selecionado, mantendo-se em mente os demais, caso ocorra algum problema com o material selecionado nas etapas posteriores. A escolha pode ser determinada por conhecimentos obtidos com experiências passadas ou com base em algum

critério como custo do material, custo de processamento, qualidade ou tempo do ciclo de injeção.

MacDERMOTT e SHENOY (1997) sugerem que o processo de escolha do material deva começar com o auxílio de um questionário estruturado que considere questões relativas à configuração do produto, custos, homologações necessárias, funções do produto, condições ambientais e estética. O questionário deve ser respondido pelos envolvidos no projeto, incluindo o fornecedor da matéria-prima, o projetista do componente, o fabricante do molde e o responsável pela produção do componente.

Caso o objeto de projeto seja um componente técnico, a quantidade de material plástico a ser considerado pelo projetista pode ser reduzida se forem excluídos os materiais de uso comum, os chamados plásticos de *commodity*, pouco utilizados em peças técnicas. Neste caso o universo de materiais plásticos estaria reduzido para o conjunto denominado “plásticos de engenharia”, e destes poderia ser dada maior atenção para aqueles comumente utilizados no processo de moldagem por injeção. Mesmo neste caso, as opções são inúmeras, considerando os vários *grades* que cada material possui. Dentre as categorias de materiais pertencentes ao conjunto dos “plásticos de engenharia” destacam-se as seguintes: acrílicos, poliamidas, poliacetais, poliésteres e policarbonatos. Alguns plásticos de uso comum, como o polipropileno e o polietileno de alta densidade, quando reforçados com aditivos, e ainda como o poliestireno e o polivinil clorídrico, quando misturados com certos plásticos de engenharia, podem ser utilizados em aplicações de engenharia (MacDERMOTT e SHENOY, 1997).

A categorização e a caracterização dos materiais plásticos são tratadas em detalhes em várias obras da literatura especializada (MALLOY, 1994; BELOFSKY, 1995; MANO, 1985; BLASS, 1988; ROSATO e ROSATO, 1987; REES, 1995; HARPER, 1996).

Embora seja impossível ter em mente todos os materiais e *grades* disponíveis, é de grande utilidade para o projetista, conhecer aspectos gerais relacionados com os materiais plásticos, assim como as principais características dos materiais mais utilizados no processo de moldagem por injeção, como mostra a tabela 2.3. MacDERMOTT e SHENOY (1997), relacionam as principais vantagens e desvantagens dos polímeros semicristalinos e polímeros amorfos. Em linhas gerais, por exemplo, é importante saber durante o processo de seleção, que os polímeros semicristalinos são mais resistentes à falha por fadiga e à ação de solventes orgânicos, enquanto os polímeros amorfos, têm maior transparência, menor contração durante o resfriamento, menor propensão ao empenamento e menor dependência das propriedades com a variação da temperatura. O peso molecular também tem influência numa série de propriedades dos materiais

plásticos. Por exemplo, o aumento no peso molecular implica num acréscimo da resistência à tração e ao impacto, não tendo, porém, nenhuma influência significativa sobre o módulo de elasticidade e sobre a tensão limite de escoamento (RAM, 1997). ROSATO e ROSATO (1987) relacionam os principais materiais plásticos em função de suas propriedades.

Tabela 2.3 - Características de alguns dos principais materiais moldados por injeção.

MATERIAL	VANTAGENS	LIMITAÇÕES	PROPRIEDADES
Polipropileno (PP) semicristalino	<ul style="list-style-type: none"> • Boa resistência contra agentes químicos e solventes • Excelente resistência à fadiga por flexão • Boa rigidez e dureza • Mantém as propriedades em elevadas temperaturas 	<ul style="list-style-type: none"> • Propaga chama • Possui relativamente pouca resistência à tração e ao impacto • É fortemente afetado pelas condições ambientais, sendo bastante sensível à radiação ultravioleta • Pequena "janela de processamento" 	<ul style="list-style-type: none"> • Resistência à tração: ≈ 35 MPa • Módulo de elasticidade: ≈ 1450 MPa • Temperatura de serviço máxima: ≈ 100 °C (140 °C por um breve período de tempo) • Temperatura de fusão: $160 - 170$ °C
ABS amorfo	<ul style="list-style-type: none"> • Fácil processamento • Dimensionalmente estável • Boa rigidez • Excelente dureza 	<ul style="list-style-type: none"> • Baixa resistência à solvente e à propagação de chama 	<ul style="list-style-type: none"> • Resistência à tração: ≈ 45 MPa • Módulo de elasticidade: ≈ 2400 MPa • Temperatura de serviço máxima: ≈ 85 °C (95 °C por um breve período de tempo)
Policarbonato (PC) amorfo	<ul style="list-style-type: none"> • Alta resistência ao impacto • Boa rigidez • Boa resistência a interpéries • Boa resistência a fadiga e a fluência • Pequena contração • Boa estabilidade das propriedades com a variação da temperatura • Resistente à propagação de chama 	<ul style="list-style-type: none"> • Alta sensibilidade ao entalhe • Baixa resistência a solventes 	<ul style="list-style-type: none"> • Resistência à tração: ≈ 65 MPa • Módulo de elasticidade: ≈ 2200 MPa • Temperatura de serviço máxima: ≈ 100 °C (135 °C por um breve período de tempo) • Temperatura de transição vítrea (T_g): 150 °C • Temperatura de fusão (T_m): 230 °C
Náilon 6 (PA - 6) semicristalino	<ul style="list-style-type: none"> • Elevada resistência à tração, ao impacto e à abrasão • Boa resistência a solventes 	<ul style="list-style-type: none"> • Alta absorção de umidade • Baixa resistência ao impacto quando livre de umidade 	<ul style="list-style-type: none"> • Resistência à tração: ≈ 72 MPa (seco), ≈ 38 MPa (com 3% de umidade) • Módulo de elasticidade: ≈ 2500 MPa (seco), ≈ 800 MPa (com 3% de umidade) • Temperatura de serviço máxima: ≈ 100 °C (160 °C por um breve período de tempo) • Temperatura de transição vítrea (T_g): $20 - 50$ °C • Temperatura de fusão: $215 - 230$ °C

Tabela 2.3 - Características de alguns dos principais materiais moldados por injeção (continuação).

MATERIAL	VANTAGENS	LIMITAÇÕES	PROPRIEDADES
Náilon 6/6 (PA - 66) semicristalino	<ul style="list-style-type: none"> • Elevada resistência à tração, ao impacto, à abrasão e à fadiga • Boa resistência a solventes • Mais fácil de moldar que o Náilon 6 	<ul style="list-style-type: none"> • Alta absorção de umidade • Baixa resistência ao impacto quando livre de umidade 	<ul style="list-style-type: none"> • Resistência à tração: ≈ 85 MPa (seco), ≈ 50 MPa (com 2,7% de umidade) • Módulo de elasticidade: ≈ 2800 MPa (seco), ≈ 1300 MPa (com 2,7% de umidade) • Temperatura de serviço máxima: ≈ 100 °C (160 °C por um breve período de tempo) • Temperatura de transição vítrea (Tg): 35 - 95 °C • Temperatura de fusão (Tm): 215 - 265 °C
Poliétileno de Alta Densidade (PEAD) policristalino	<ul style="list-style-type: none"> • Fácil processamento • Excelente resistência ao ataque de produtos químicos 	<ul style="list-style-type: none"> • Baixa resistência mecânica • Sensível às condições ambientais • Propaga chama 	<ul style="list-style-type: none"> • Tensão limite de resistência: ≈ 25 MPa • Módulo de elasticidade: ≈ 1000 MPa • Temperatura de serviço máxima: ≈ 90 °C (100 °C por um breve período de tempo)

Para MacDERMOTT e SHENOY (1997) a seleção do material deve ser feita com base em quatro variáveis: características geométricas do componente, resinas, características do processo de fabricação e projeto do molde. A tabela 2.4 relaciona alguns parâmetros a cada uma das quatro variáveis. É evidente que, com todas estas considerações, a tarefa de seleção do material deve ser realizada por uma equipe multidisciplinar, envolvendo o fornecedor da resina, o projetista do componente, o fabricante do molde e o responsável pela injeção do componente.

BEITER *et al.* (1997) propuseram um sistema computacional de auxílio denominado *System Cost Based Material Selection*, visando a consideração simultânea das implicações da seleção do material e da geometria do componente sobre os custos estimados de manufatura de componentes de plástico injetados. A seleção do material é feita com base em requisitos de projeto e custos de manufatura.

Tabela 2.4 - Parâmetros que podem influenciar a seleção do material plástico.

COMPONENTE	MATERIAL	MOLDE	MOLDAGEM
<ul style="list-style-type: none"> • aspectos funcionais • tolerâncias requeridas • condições de serviço • características geométricas • requisitos de projeto • custo meta • acabamento superficial • normas 	<ul style="list-style-type: none"> • custo de aquisição • propriedades do material • tempo para entrega • potencial para reciclagem 	<ul style="list-style-type: none"> • custo do molde • qualidade do acabamento superficial • material do molde • tolerâncias obtidas 	<ul style="list-style-type: none"> • custo de processamento • capacidade da máquina injetora • programação da produção • tamanho do lote de produção

Para dar suporte a complexa atividade de seleção de materiais plásticos e fornecer respostas rápidas sobre o material mais indicado para uma dada aplicação, alguns sistemas especialistas foram propostos. Entretanto, segundo MacDERMOTT e SHENOY (1997), a maioria das propostas foi abandonada devido a insucessos, interesses comerciais conflitantes e impossibilidade de considerar todas as variáveis que podem influenciar no processo de seleção do material. Os autores apresentam em detalhes o PSA (*Polymer Selection Assistant*), um dos primeiros sistemas especialistas destinados à seleção de materiais plásticos.

Por outro lado, várias bases de dados com informações relativas a inúmeros materiais, estão disponíveis. O Plastic Technology's Plaspec, por exemplo, fornece uma lista de resinas que satisfazem as necessidades indicadas pelo usuário. O projetista compara as especificações de projeto (funcionais e de produção) com os valores correspondentes aos materiais, e seleciona aquele que melhor atende às especificações com menor custo. MALLOY (1994) sugere como alternativas para o caso de o material necessário não ser encontrado, o reprojetado do componente, a relaxação nos valores das especificações de projeto (relacionadas a aspectos funcionais e de custo), ou a associação com o fornecedor para o desenvolvimento de um novo material ou *grade*, através de ligas (blendas) ou aditivos.

Como aspecto negativo destas bases de dados relaciona-se a dificuldade em efetuar comparações, uma vez que as propriedades disponíveis variam de material para material. Além disso, os valores obtidos para cada propriedade dependem do método de ensaio adotado. Calcula-se, por exemplo, que exista mais de trinta métodos de ensaio diferentes para se obter o valor da resistência ao impacto de materiais plásticos (MALLOY, 1994). Dentre outras bases de dados, destaca-se o CAMPUS (www.campusplastics.com), que procura reunir uma série de fornecedores de resinas plásticas sob uma mesma sistemática internacional para ensaios com base em normas ISO. MALLOY (1994) relaciona várias outras bases de dados de propriedades dos materiais plásticos.

2.5 PROJETO E FABRICAÇÃO DE MOLDES PARA INJEÇÃO DE PLÁSTICO

O projeto e a fabricação do molde é uma etapa que demanda uma grande quantidade de tempo dentro do ciclo de desenvolvimento de produtos de plástico injetados. Possui forte inter-relação com o projeto e a produção do componente, exercendo grande influência sobre as características, qualidade e propriedades das peças moldadas, e sobre os custos do processo de produção. A complexidade das tarefas desta etapa, exige a aplicação de conhecimentos de áreas

técnicas diversas.

HUBKA e EDER (1996) classificam as ferramentas para produção como equipamentos com finalidade especial (*special purpose equipment*). A principal característica desta classe de produtos é a fabricação única (*one-of-a-kind*) e sob pedido especial. Requisitos típicos para os produtos pertencentes a esta classe são, segundo os autores, fortes exigências quanto ao tempo para entrega, confiabilidade e disponibilidade, facilidade e flexibilidade para que sejam feitas alterações para adaptação a um outro tipo de produto ou processo, e previsão de ajustes para aumentar o desempenho.

A figura 2.2 ilustra as tarefas principais do projeto de moldes para injeção de plásticos. As atividades estão representadas de forma sequencial, porém existe um forte grau de interação entre elas.

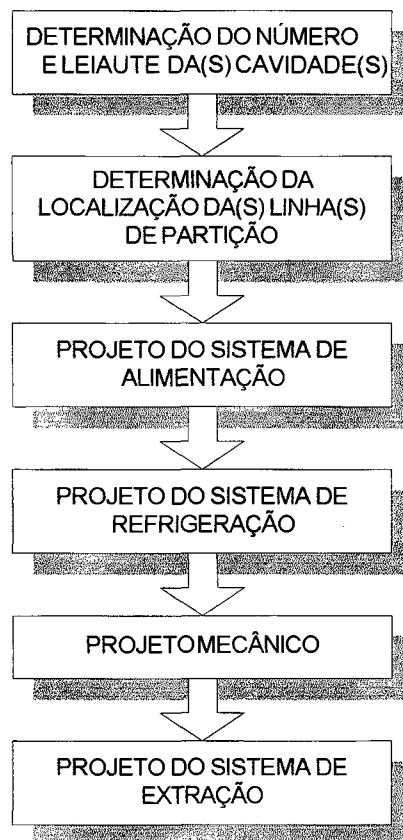


Figura 2.2 - Principais tarefas do projeto de moldes para injeção de plásticos.

Nos próximos tópicos serão apresentadas considerações pertinentes ao projeto de moldes, de modo a melhor situar esta atividade dentro do contexto do processo de desenvolvimento de componentes de plástico injetados, e fundamentar a proposta de abordagem apresentada no Capítulo 5. Considerações sobre o projeto para manufatura de componentes de plástico injetados

também serão feitas, buscando-se relacionar os parâmetros de projeto do componente, seleção do material, projeto e fabricação do molde, e produção do componente injetado, evidenciando o forte grau de inter-relação existente entre estas atividades.

O texto enfatiza as atividades de determinação do número e leiaute de cavidades, e do projeto do sistema de alimentação (canais e pontos de injeção), já que estas atividades têm maior interação com as decisões tomadas durante o desenvolvimento do componente. Análises de moldabilidade somente podem ser feitas com o estudo simultâneo do número e localização dos pontos de injeção e, em alguns casos, com determinação do número de cavidades e leiaute de canais de alimentação. As decisões tomadas com relação à cavidade e ao sistema de alimentação são de fundamental importância para a análise da geometria da peça dentro de uma abordagem de projeto para manufatura. Detalhes sobre o projeto do molde são fartamente abordados pela literatura (REES, 1995; MENGES e MOHREN, 1993; BELOFSKY, 1994; GORDON, 1993; MALLOY, 1994; FRADOS, 1976).

2.5.1. Cavidades de Injeção

Vários critérios e fatores limitantes devem ser considerados na definição das características construtivas da cavidade de um molde para injeção de plástico. Questões como tamanho, número e leiaute de cavidades, devem ser tratadas tendo-se em mente aspectos restritivos, tais como, tamanho e capacidade da máquina injetora, geometria da peça e tempo do ciclo de injeção, além dos requisitos de projeto do componente e o tamanho do lote de produção. Procurar-se-á nesta seção, com base no levantamento bibliográfico realizado e no conhecimento adquirido durante o desenvolvimento do estudo de caso descrito no Capítulo 4, explicitar os principais fatores que são considerados na escolha das características da cavidade, e as relações existentes com a determinação das características geométricas do componente durante o seu projeto.

Considerações quanto ao número de cavidades: o número de cavidades é limitado pelas características da máquina injetora. Força de fechamento máxima, dimensões da máquina, quantidade de material capaz de ser injetada por ciclo de injeção, quantidade de material plastificado que a máquina pode fornecer ao molde por unidade de tempo e a máxima pressão de injeção são fatores limitantes. Existe uma relação direta entre a área projetada da cavidade e a força necessária para o fechamento do molde, já que a força reativa imposta à unidade de fechamento é calculada através do produto da área projetada da cavidade e dos canais de distribuição pela máxima pressão na cavidade (MENGES e MOHREN, 1993). A força de

fechamento deve ser capaz de superar esta força reativa. O cálculo da mínima força de fechamento é feito, então, tomando-se por base o produto da área máxima projetada pela pressão máxima na cavidade, devendo ser maior que o resultado deste produto. BELOFSKY (1995) recomenda uma margem de segurança para a força de fechamento sobre a força reativa do molde de 15%. Cálculos mais elaborados para a estimativa da força de fechamento são propostos por CRAWFORD (1987). Também a pressão de injeção envolvida não deve ser tal que a resistência mecânica da máquina injetora não seja suficientemente capaz de suportar a força de fechamento necessária, sob pena de causar deflexão nas placas, o que origina defeitos na peça tais como rebarbas. Em muitos casos, principalmente quando o componente é injetado na própria empresa responsável pelo seu projeto, a máquina injetora é uma condição preestabelecida, considerando a capacidade das máquinas instaladas e o alto custo de aquisição de uma máquina nova, o que impõe limitações ao projeto.

Normalmente para lotes pequenos e para peças grandes são empregados moldes de cavidade única. Já no caso de peças pequenas com grande escala de produção, adota-se moldes de múltiplas cavidades. Este é o primeiro critério geralmente considerado na decisão quanto ao número de cavidades segundo MENGES e MOHREN (1993). Os pesquisadores sugerem que o cálculo do custo seja também uma das primeiras considerações como critério na tomada de decisão. A estimativa do custo deve ser feita ainda na etapa de projeto do molde, considerando que os custos de fabricação do molde variam bastante conforme as características construtivas do molde. Como uma orientação para a determinação do número de cavidades, os autores sugerem que sejam considerados os parâmetros e a seqüência mostrados na figura 2.3.

A determinação do número de cavidades deve considerar, além dos aspectos econômicos, aspectos limitantes relacionados com a qualidade da peça, com o tipo de molde, com a máquina injetora e com o tempo de fabricação (produtividade). Estes parâmetros devem ser variados, dentro dos limites das restrições associadas, até que o menor custo seja atingido. Um outro aspecto importante refere-se a qualidade da peça. Quando um molde possui mais de uma cavidade, torna-se mais difícil garantir que todas as peças sejam perfeitamente moldadas, afetando, portanto, a qualidade e a produtividade.

Se não há nenhuma restrição quanto à qualidade da peça ou ao tempo de fabricação (passos 2 e 3, respectivamente, na figura 2.3), o número de cavidades pode ser determinado apenas através de procedimentos de cálculo, tendo-se em mente a questão do menor lote econômico por ciclo de injeção, além do tipo de molde empregado e do porte e capacidade da máquina injetora. Somente desta forma pode-se chegar ao número ótimo de cavidades sob os

aspectos técnicos e econômicos (MENGES e MOHREN, 1993).

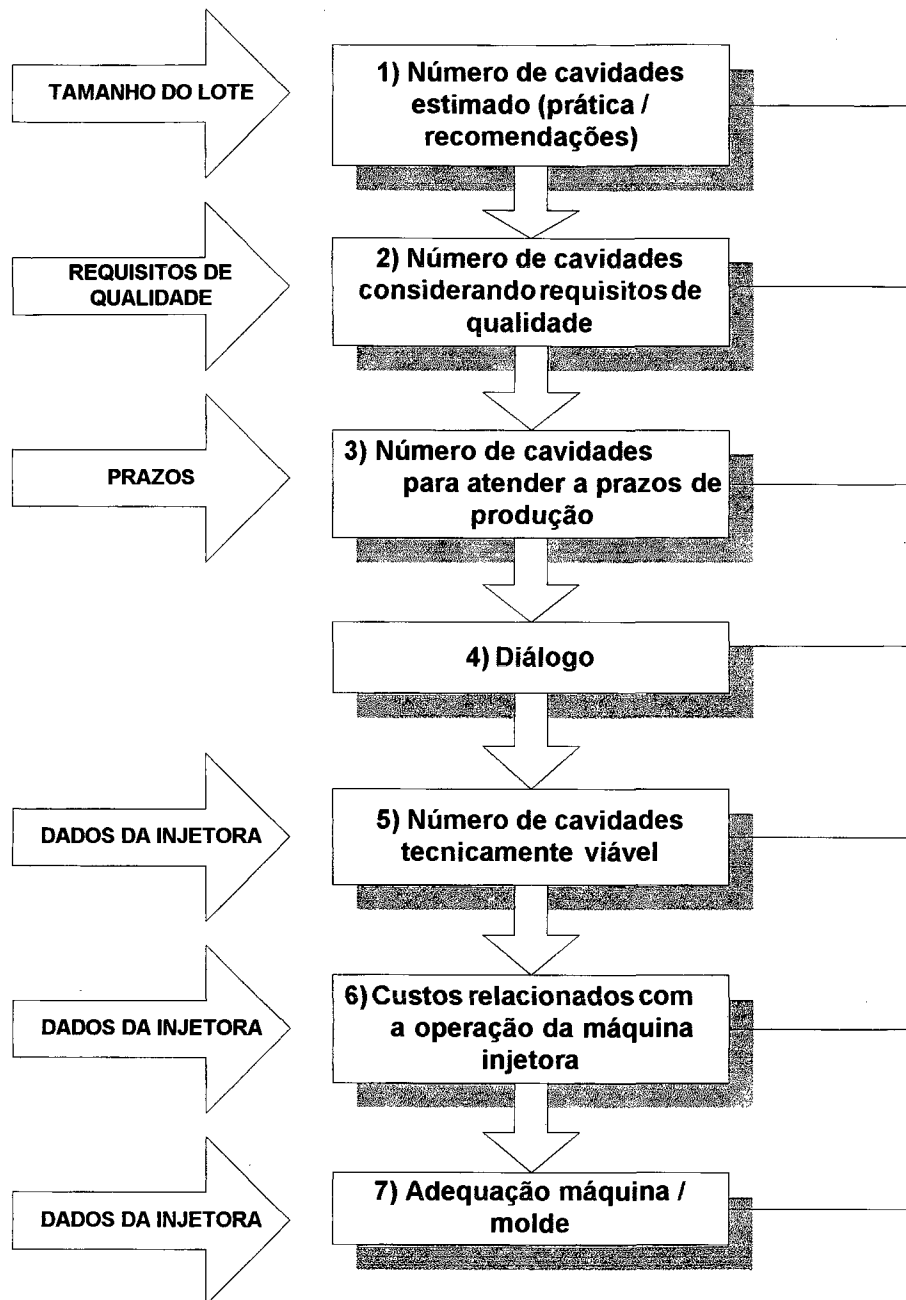


Figura 2.3 - Estabelecimento do número ótimo de cavidades.

Percebe-se que o processo de definição quanto ao número de cavidades pode requerer ciclos iterativos. Bangert *apud* MENGES e MOHREN (1993) propõe uma sistemática para que seja determinado o melhor número de cavidades. A sistemática proposta pode ser resumida nas seguintes etapas:

Etapa 1 - Seleção preliminar do tipo de molde e da máquina injetora: a partir de uma análise da peça a ser produzida é determinado um conjunto de concepções adequados para o molde ao

mesmo tempo em que uma seleção preliminar de máquinas injetoras é feita considerando diferentes números de cavidades. Nesta etapa deve-se considerar questões como a extração da peça e a posição dos pontos de injeção.

Etapa 2 - Limitações gerais quanto ao número de cavidades: um número limite de cavidades é estimado tendo-se por base a experiência e considerações gerais como a geometria da peça, a qualidade requerida e o tempo de fabricação.

Etapa 3 - Limitações quanto ao número de cavidades considerando-se características do molde e da máquina injetora: o número possível de cavidades é limitado através de considerações técnicas com relação às características dos moldes e da máquina injetora previamente estabelecida.

Etapa 4 - Estimativa do custo da peça: após determinar o maior tamanho de molde com os números de cavidades possíveis, considerando as características da máquina injetora, ou variando as máquinas e/ou os moldes num processo iterativo, o custo da peça pode ser estimado considerando custos diretos e indiretos e mão-de-obra necessária. Caso as estimativas de custo obtidas não forem as esperadas, uma nova iteração deve ser feita considerando outras máquinas e outros tipos de moldes.

Etapa 5 - Matriz de Resultados: o resultado deste processo é uma matriz relacionando as máquinas injetoras consideradas, os tipos de moldes e o número de cavidades investigado para cada tipo de molde com os respectivos custos por peça para cada combinação máquina/molde/número de cavidades, conforme mostra a tabela 2.5. Desta forma a opção que implica em menor custo é facilmente identificada. Isto não significa que seja tecnicamente a melhor opção.

Tabela 2.5 - Matriz de Resultados (adaptado de MENGES e MOHREN, 1993).

Máquina (M)	Tipo de Molde (T)	No. Cavidades (n)	Custo da Peça $C=f(M,T,n)$
M_1	T_1	n_1	$C(1,1,1)$
		n_2	$C(1,1,2)$
		n_3	$C(1,1,3)$
		...	
	T_2	n_1	$C(1,2,1)$
		n_2	$C(1,2,2)$
		n_3	$C(1,2,3)$
	...		
M_2	T_1	n_1	$C(2,1,1)$
		n_2	$C(2,1,2)$
		n_3	$C(2,1,3)$
		...	

Algumas fórmulas empíricas para a estimativa do número de cavidades, bem como maiores detalhes sobre as etapas do procedimento descrito anteriormente são fornecidos por MENGES e MOHREN (1993).

Em resumo, como dados de entrada para a determinação do número de cavidades do molde, deve-se considerar o seguinte: geometria da peça, qualidade requerida para a peça, tamanho do lote, tempo para a produção do componente, restrições de custo, aspectos construtivos do molde e características da máquina injetora (se este for um fator limitante), como força de fechamento, pressão máxima de injeção, volume de material injetado por ciclo de injeção, distância entre colunas e rigidez estrutural.

Cabe ressaltar que quando há disponível apenas uma máquina injetora, existindo ainda limitações quanto à confecção do molde, o processo de seleção quanto ao número de cavidades pode ser bastante limitado e, por conseguinte, mais simples, devido ao menor número de variantes disponíveis.

Considerações quanto ao leiaute das cavidades: como uma das principais recomendações tem-se que o conjunto das cavidades deve estar centrado em relação ao canal principal de injeção, a fim de evitar carregamento excêntrico com conseqüências como abertura do molde e deformação nas colunas guias. No caso de um molde com múltiplas cavidades, deve-se procurar garantir ainda, que as seguintes condições (requisitos de projeto) sejam satisfeitas (MENGES e MOHREN, 1993):

- todas as cavidades devem ser preenchidas ao mesmo tempo com o material à mesma temperatura;
- o comprimento dos canais deve ser o menor possível, de modo a evitar perdas de material (refugo);
- a distância entre cavidades deve ser suficientemente grande para permitir a passagem dos canais de refrigeração e dos pinos de extração, além de garantir que o molde suportará a pressão de injeção;
- a soma de todas as forças reativas deve estar no centro de gravidade da placa porta cavidades.

Segundo MENGES e MOHREN (1993), para que estas condições sejam obtidas, as configurações comumente empregadas para cavidades podem ser classificadas em três grupos: leiaute circular, leiaute em série, leiaute simétrico. Vários outros autores sugerem configurações típicas para as cavidades de um molde (REES, 1995; BELOFSKY, 1995; BLASS, 1988).

Com o conhecimento das restrições impostas ao número e leiaute das cavidades, e com a

definição em conjunto da disposição dos canais de alimentação e do número e posição dos pontos de injeção, pode-se então dar início a um estudo reológico mais detalhado do fluxo de material dentro das cavidades, para que sirva também como fundamento para a tomada de decisão numa nova iteração do procedimento para a determinação do número e leiaute das cavidades.

2.5.2 Projeto do Sistema de Canais de Alimentação

Um bom projeto do sistema de alimentação (canal de alimentação, canais de distribuição e pontos de injeção) é fundamental para o bom escoamento do material plastificado, e para garantir que a peça fique livre de defeitos e dentro das especificações de projeto. O projeto do sistema de alimentação deve buscar o preenchimento simultâneo das cavidades, nas mesmas condições de fluxo, pressão e temperatura.

O projeto do sistema de canais deve considerar parâmetros de projeto previamente definidos em outras etapas do projeto da peça e do molde, sob pena de causar problemas de qualidade na peça, aumentar o tempo do ciclo de injeção e causar custos adicionais. De acordo com MENGES e MOHREN (1993), vários fatores interagem com o processo de projeto do sistema de canais. Para os autores, estes fatores podem ser divididos em quatro grupos:

Material a ser injetado: viscosidade, composição química (amorfo, semicristalino), tempo de resfriamento, sensibilidade ao aquecimento, contração, dentre outros.

Molde: forma através da qual a peça é extraída (automática ou manual), temperatura do sistema de canais.

Máquina injetora: forma do fechamento, pressão de injeção, capacidade de injeção.

Características da peça: geometria, volume, espessura de parede.

Além destes fatores deve-se considerar ainda aspectos de qualidade (conformidade dimensional, grau de transparência, integridade estrutural), econômicos e, naturalmente, reológicos.

Para um bom projeto do sistema de canais deve-se buscar ainda, identificar as necessidades dos chamados clientes do ciclo de desenvolvimento (projetista do componente e responsáveis pela fabricação do molde e produção do componente, conforme a tabela 2.1).

Como necessidades geralmente consideradas no projeto de sistemas de canais, MENGES e MOHREN (1993) relacionam:

- impor menor restrição possível ao fluxo de material;
- facilitar a extração;

- não afetar a aparência da peça;
- evitar perdas de pressão, temperatura e desperdício de material;
- preencher adequadamente a(s) cavidade(s);
- ter pouca ou nenhuma influência sobre o tempo do ciclo de injeção;
- definir a localização dos pontos de injeção visando evitar esguichamento.

A geometria dos canais deve considerar aspectos de fluxo do material plastificado. Durante o fluxo de material no interior dos canais ocorre, por exemplo, um rápido resfriamento devido às trocas de calor com o molde, formando uma camada solidificada próxima às paredes dos canais. Esta camada atua como um isolante térmico, assegurando o fluxo de material no centro dos canais. O fluxo de material pastoso no centro dos canais deve ser mantido até que o moldado esteja completamente solidificado. Desta forma, assegura-se que a contração sofrida pelo material durante a solidificação seja compensada na etapa de recalque. Portanto, as dimensões dos canais são definidas considerando também as condições de resfriamento.

Uma sessão transversal menor implica em uma menor superfície de contato, diminuindo a taxa de troca de calor, além de reter menos material nos canais (refugo), tornando a produção mais econômica (MENGES e MOHREN, 1993).

Com relação ao material a ser injetado, deve-se observar as suas propriedades. Por exemplo, para materiais plásticos com menor viscosidade pode-se ter canais mais finos sem prejudicar o escoamento. Materiais de alta viscosidade, como os acrílicos, requerem grandes canais de distribuição, para compensar o aumento de resistência ao fluxo, e menor comprimento possível para reduzir o desperdício de material. Para pequenas peças fabricadas com estes tipos de materiais não é econômica a adoção de ferramentas de cavidades múltiplas com longos sistemas de canais de distribuição (GLANVILL e DENTON, 1980).

Já a geometria do componente determina a quantidade de material a ser injetado e a taxa de preenchimento necessária. Peças maiores com paredes espessas necessitam de canais com maior área de seção transversal. Moldes com boa distribuição de cavidades requerem canais mais curtos (MENGES e MOHREN, 1993). DEFOSSE *et al.* (1996) afirmam que a geometria dos canais pode ser definida de modo a aumentar localmente a taxa de cisalhamento, gerando um aquecimento localizado e diminuindo a viscosidade do polímero. Ao contrário do aquecimento gerado no cilindro de injeção, o aquecimento localizado ocorre em um curto intervalo de tempo. Desta forma, o fluxo de material pode ser melhorado, reduzindo-se a pressão de injeção necessária, sem aquecer a massa plastificada no interior do cilindro de injeção. Deve-se, entretanto, estar atento para o limite de aquecimento do material, a fim de evitar sua degradação

térmica, ainda que seja localizada e por um breve espaço de tempo. A curva de degradação do material do componente deve ser observada, a fim de que sejam respeitados os limites de temperatura e tempo de aquecimento indicados.

Como principais requisitos atribuídos ao sistema de canais de alimentação, MENGES e MOHREN (1993) relacionam:

- conduzir o material plastificado rapidamente e sem restrições até a cavidade, num percurso o mais curto possível e com mínima perda de temperatura e pressão;
- garantir que o material chegue a todos os pontos de injeção ao mesmo tempo e com as mesmas pressões e temperaturas;
- possuir seção transversal suficientemente grande de modo a garantir que o tempo de resfriamento seja igual ou pouco superior ao tempo de resfriamento do molde. Desta forma busca-se tornar a etapa de recalque mais eficiente;
- possuir a menor seção transversal possível para evitar perdas de material (aqui deve-se considerar outros fatores como, por exemplo, uma seção transversal maior é mais favorável ao preenchimento ótimo da cavidade e mais indicada para manter uma pressão de recalque adequada. Por outro lado, uma seção transversal muito grande tende a aumentar o tempo de resfriamento e, por conseguinte, o tempo do ciclo de injeção);
- procurar obter a menor razão superfície/volume.

Na bibliografia especializada (REES, 1995; BLASS, 1988; MENGES e MOHREN, 1993; BELOFSKY, 1995) existe uma série de propostas de fórmulas empíricas para o cálculo do dimensionamento dos canais de injeção. Alguns ábacos empíricos relacionando peso da peça, comprimento e diâmetro dos canais, também estão disponíveis na literatura.

Outra consideração importante é quanto ao grau de acabamento dos canais e tolerâncias dimensionais. Estes fatores estão diretamente relacionados com a qualidade da peça moldada e com aspectos econômicos do processo. O grau de acabamento depende do material a ser moldado, alguns exigindo inclusive polimento (MENGES e MOHREN, 1993).

O projeto do sistema de canais simultaneamente ao projeto dos pontos de injeção é um processo iterativo. Segundo BELOFSKY (1995), primeiro um conjunto de valores para o comprimento e dimensões da seção transversal dos canais deve ser determinado. Posteriormente devem ser feitas análises quanto às tensões de cisalhamento do fluxo e gradientes de pressão e comparar os resultados com os valores desejados ou permitidos. Para isto são necessários curvas e dados de propriedades do material na temperatura de processo e o auxílio de um sistema CAE apropriado é recomendado.

2.5.3 Pontos de Injeção

A localização do(s) ponto(s) de injeção tem grande influência no comportamento do fluxo da massa fundida no interior da cavidade. Por conseguinte, a qualidade final do componente também depende da localização dos pontos de injeção, o que determinará a formação e localização de linhas de solda e ar aprisionado, tolerâncias dimensionais obtidas, sentido de orientação das moléculas, além do aparecimento de defeitos no componente tais como: marcas de injeção, tensões residuais, empenamento, *overpacking*, dentre outros. Aspectos dimensionais sofrem grande influência conforme a localização dos pontos de injeção.

O ponto de injeção é a parte mais estrangulada do sistema de alimentação, estando também em contato direto com a peça moldada. Basicamente, os pontos de injeção devem ser pequenos de modo a garantir a fácil desmoldagem e separação do componente, contribuindo também com a sua estética. O pequeno tamanho dos pontos impõe resistência ao fluxo de material, quando então parte da pressão de injeção é consumida e a temperatura do material é consideravelmente elevada. Isto é desejável, pois o material torna-se mais fluido e a região do molde próxima aos pontos torna-se mais quente, retardando o resfriamento dos pontos. Em contrapartida, o tamanho da seção transversal do ponto de injeção deve ser adequado para garantir a presença de estado fluido durante a etapa de recalque. Além disso, se os pontos de injeção forem muito estreitos, podem causar defeitos superficiais nas peças como manchas, devido a uma grande elevação de tensão de cisalhamento.

Devido a alta pressão, a maior velocidade do fluxo de material e ao calor gerado em função da maior fricção, a área próxima ao ponto de injeção está mais sujeita ao aparecimento de tensões residuais (ROSATO e ROSATO, 1987). Portanto, não é aconselhável a localização dos pontos de injeção na região da peça que será submetida à maior solicitação mecânica em serviço.

Com relação aos fatores que determinam a localização dos pontos de injeção pode-se relacionar (MENGES e MOHREN, 1993):

referente ao componente a ser injetado: geometria, espessura de parede, direção da solicitação mecânica, qualidade (dimensional, funcional, aparência), comprimento do fluxo/espessura de parede;

referente ao material da peça: viscosidade, temperatura, característica do fluxo, contração;

referente à qualidade: distorção, linhas de solda.

Quanto maior a viscosidade do material e mais espessa a seção transversal da peça, maior deve ser o ponto de injeção.

O tamanho dos pontos de injeção não deve ainda causar degradação do material por demasiada elevação da temperatura, nem causar uma forte perda de pressão de injeção.

Os pontos de injeção podem assumir diferentes formas e estarem localizados de várias maneiras em relação ao moldado. Conforme a geometria da peça, qualidade e propriedades mecânicas requeridas, material a ser injetado e características da máquina injetora, pode-se optar por uma dada configuração e disposição dos pontos de injeção. Por exemplo, deve-se adotar mais de um ponto de injeção:

- se o limite de pressão da máquina injetora não for suficiente para um dado comprimento de fluxo;
- para reduzir a variação de pressão e a contração diferenciada;
- para reduzir o tempo do ciclo de moldagem;
- caso exista uma variação de espessura de parede muito grande na peça.

Entretanto, a adoção de mais de um ponto de injeção aumenta o número de linhas de solda, o que pode ser inconveniente sob o ponto de vista de resistência mecânica e da estética. O projetista do molde e do componente devem ter esta preocupação, principalmente em peças com função estrutural, já que a região da linha de solda é um ponto de falha em potencial, caso ocorra solda fria. São poucas as regras de projeto destinadas para que linhas de solda sejam minimizadas. Entretanto deve-se ter a consciência que os fatores com maior influência sobre a formação de linhas de solda são o material da peça, a geometria da peça, o projeto do molde e as condições de processo (MALLOY, 1994). Ao escolher o material deve-se pensar na viscosidade, ao projetar o molde deve-se considerar o número de pontos de injeção, o sistema de saída de ar e o sistema de refrigeração. As condições de processo, pressão de injeção e temperatura do material injetado e do molde, têm grande influência na qualidade da linha de solda formada. Devido a esta dependência, fica difícil para o projetista prever, por exemplo, a resistência mecânica do componente. Deve-se evitar a formação de linhas de solda em regiões de maior solicitação mecânica e em regiões aparentes da peça, caso haja alguma preocupação com relação à estética.

Para os casos de moldagens sujeitas a distorções, como no caso de polietileno de alta densidade ou em moldagens onde a taxa de resfriamento é muito elevada, também adota-se múltiplos pontos de injeção (MENGES e MOHREN, 1993). REES (1995) relaciona como vantagens da adoção de múltiplos pontos de injeção:

- menores pontos de injeção e, conseqüentemente, menores as marcas deixadas na peça;
- menor pressão de injeção requerida
- menor força de fechamento necessária, devido à menor pressão de injeção;

- possibilidade de moldagem de peças com menor espessura de parede;
- ciclos de injeção mais rápidos devido à maior velocidade de injeção.

Deve-se ressaltar que a maior quantidade de pontos de injeção aumenta o custo do molde, o que deve ser considerado no momento da tomada de decisões com relação ao projeto do sistema de alimentação. Segundo REES (1995), com base em experimentos realizados, no tocante à qualidade do produto injetado, o número de pontos de injeção não implica em significativos benefícios ou desvantagens para a qualidade da peça como a resistência ao carregamento e ao impacto.

Regiões próximas aos pontos de injeção tendem a ter menor contração devido aos gradientes de pressão e efeitos de compressibilidade (MALLOY, 1994). Tendo influência tanto em requisitos funcionais quanto na determinação do padrão de fluxo, a localização do(s) ponto(s) de injeção deve ser analisada de modo conjunto pelo projetista do componente e pelo projetista do molde.

Com relação à fabricação do molde, a localização do(s) ponto(s) de injeção também afeta a escolha do tipo de molde, duas ou três placas, influenciando também os custos de fabricação do molde.

A orientação molecular obtida também é determinada pela localização do(s) ponto(s) de injeção, o que é importante, considerando que as propriedades mecânicas são melhores no sentido de orientação das moléculas. A anisotropia causada é maior no caso da utilização de polímeros com maior viscosidade ou reforçados por fibras e em componentes de paredes finas (MALLOY, 1994). O projetista do molde deve utilizar a seu favor a orientação molecular causada pelo padrão de fluxo, ao procurar direcionar o fluxo de material fundido na mesma direção das maiores solicitações mecânicas em serviço. No caso de um estado multi-axial de tensão da peça em serviço, normalmente é melhor reduzir o grau de orientação molecular (MALLOY, 1994). A orientação preferencial das moléculas pode ser minimizada com ajustes de parâmetros de processo. O aumento da temperatura de injeção favorece o grau de relaxação das moléculas durante o resfriamento, minimizando o grau de orientação molecular. O aumento no diâmetro dos canais de alimentação, além do encurtamento do caminho de fluxo, também favorecem um menor grau de orientação das moléculas.

Portanto, decisões tomadas na etapa de fabricação do molde e no processo de produção da peça, afetam diretamente características funcionais do componente. Observa-se pelo exposto anteriormente, uma forte inter-relação projeto do componente / projeto do molde / processo de produção do componente, o que justifica sobretudo a adoção de uma abordagem integrada de

projeto.

2.5.4 Sistema de Refrigeração

A etapa de resfriamento da peça antes da extração é, na maioria das vezes, a mais demorada dentre todas as etapas que compõem o ciclo de injeção (MALLOY, 1994). Características do componente como espessura de parede, e do molde, como sistema de refrigeração, bem como condições de processo, têm forte influência no tempo necessário para o resfriamento da peça, a fim de garantir sua integridade no momento da extração e evitar o empenamento.

Por ter grande influência no tempo total do ciclo de injeção e, por conseguinte, na produtividade e custo final do componente, o projetista do componente pode alterar características da peça, visando minimizar o tempo de resfriamento. Da mesma forma, este parâmetro de processo deve estar na mente do projetista do molde, principalmente no caso de grandes lotes de produção, quando então torna-se mais evidente a importância da produtividade.

A taxa com que o material do componente é resfriado tem grande influência na qualidade do injetado. A uniformidade da taxa de troca de calor ao longo do componente também é importante para que se evite contrações diferenciadas, tensões residuais e empenamento. O projeto do sistema de refrigeração deve considerar a geometria do componente, os requisitos de qualidade e dimensionais do componente, os parâmetros de processo e a produtividade pretendida. Como resultado do projeto do sistema de refrigeração tem-se o leiaute dos canais de refrigeração e a vazão do líquido refrigerante necessária.

2.5.5 Sistema de Extração

Assim como o sistema de refrigeração, o sistema de extração é também definido pelo projetista do molde. Entretanto as características do componente determinam a maior ou menor facilidade com que a peça é extraída e a maior ou menor complexidade requerida para o sistema de extração. O sistema de extração pode ter um custo elevado, mesmo para componentes com geometria simples, se o projeto do componente não for desenvolvido tendo-se em mente a etapa de extração, o que pode ser facilitado através da presença do projetista do molde desde a concepção da forma do componente (MALLOY, 1994). São exemplos de características da peça que afetam o grau de dificuldade e os custos envolvidos para a fabricação do sistema de extração: acabamento superficial, ângulos de extração, presença de geometrias intrincadas, *snap fits* e furos.

Caso a ação dos pinos de extração comprometa a integridade estrutural da componente, deve-se prever superfícies próprias nos pontos onde estes atuarão. A força de extração também não pode ser demasiada, de modo a garantir que os pinos de extração não causem danos ao componente. Em alguns casos, requisitos estéticos do componente devem ser considerados no momento de determinar a localização dos pinos de extração, além de outras considerações normalmente feitas com relação ao sistema de refrigeração, linha de partição e pontos de injeção.

As inúmeras recomendações de projeto contidas nesta seção serviram para explicitar o grau de inter-relação existente entre o projeto do componente, o projeto e fabricação do molde e o processo de moldagem.

Deve-se ressaltar que as recomendações de projeto sugeridas neste capítulo devem ser aplicadas de forma crítica, já que as particularidades de cada projeto exigem, via de regra, que uma solução de compromisso seja adotada. Os princípios descritos são apenas um apoio para a elaboração de análises mais detalhadas, normalmente com a adoção de algum sistema CAE.

2.6. PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO DE COMPONENTES INJETADOS - PARÂMETROS ENVOLVIDOS

2.6.1 Seleção da Máquina Injetora

Quanto à seleção da máquina injetora pode-se ter duas situações de projeto: projeto do componente orientado pelas limitações dos equipamentos de produção disponíveis e projeto do componente livre de restrições de equipamentos de produção. No primeiro caso já se tem conhecimento de antemão sobre a planta onde o componente será injetado. No segundo caso, a empresa responsável pela produção do componente será selecionada após a conclusão do projeto do componente, ou no momento do início do projeto do molde, em função de sua capacidade para a produção do componente em questão.

Em virtude da tendência de estabelecimentos de parcerias de longo prazo entre as empresas envolvidas no desenvolvimento e produção de sistemas técnicos e componentes, cada vez mais deve-se considerar na fase de desenvolvimento do componente, as limitações de produção da empresa responsável pela injeção do componente. Neste caso, o desenvolvimento do componente sofre limitações dos equipamentos de produção disponíveis, a menos que a aquisição de uma nova injetora seja justificável.

Nestas situações, é recomendável que a equipe de projeto do molde já tenha em mente o conjunto de máquinas injetoras disponíveis e a seleção seja feita no momento oportuno dentro da fase de desenvolvimento do componente. Evita-se desta maneira, aumento nos custos de produção ou problemas que somente seriam detectados no momento da produção. Assim sendo, o planejamento do processo de produção, dentro de uma filosofia de projeto integrado, tem início ainda na fase de desenvolvimento do componente injetado, através da seleção da máquina injetora.

São muitos os parâmetros analisados para a seleção da máquina injetora que melhor adequa-se à produção de um determinado produto injetado. A grande parte deles tem impacto significativo na qualidade do injetado obtido e nas decisões tomadas no projeto do componente, tais como a seleção do material, a espessura de parede e área máxima projetada do componente. A associação é ainda maior no caso do projeto do molde, quando número e leiaute das cavidades, escolha do tipo de molde, dentre outros, são decisões que são tomadas também com base na capacidade e tamanho da máquina injetora. Para ilustrar a relação existente entre as características da máquina injetora e os projetos do componente e do molde, a tabela 2.6 faz uma associação entre os principais parâmetros envolvidos.

Tabela 2.6 - Parâmetros importantes para a seleção da máquina injetora.

Características da Máquina Injetora	Relações com os Projetos do Componente e do Molde
Capacidade de injeção [gramas de PS]	<ul style="list-style-type: none"> • volume máximo do(s) componente(s) injetados por ciclo, mais os canais de alimentação; • número de cavidades.
Força de fechamento [tf]	<ul style="list-style-type: none"> • área máxima da cavidade (área projetada); • número de cavidades.
Pressão de injeção [bar]	<ul style="list-style-type: none"> • seleção do material (conforme faixa de pressão indicada); • qualidade do injetado obtido; • faixas de tolerâncias obteníveis.
Velocidade ou taxa de injeção [cm/s e cm ³ /s, respectivamente]	<ul style="list-style-type: none"> • espessura de parede do componente.
Capacidade de plastificação [kg/h de PS]	<ul style="list-style-type: none"> • seleção do material; • volume de material a ser injetado.
Curso de abertura do molde [mm]	<ul style="list-style-type: none"> • altura máxima do componente a ser moldado; • comprimento máximo do canal de alimentação; • alturas mínima e máxima do molde.
Espaço útil entre as colunas de sustentação da placa móvel [mm]	<ul style="list-style-type: none"> • tamanho do componente a ser moldado; • número de cavidades; • leiaute do sistema de alimentação.
Razão comprimento-diâmetro do parafuso (L/D)	<ul style="list-style-type: none"> • qualidade do injetado obtido; • faixas de tolerâncias obteníveis.

Outras características da máquina injetora que podem ser importantes no momento da seleção são: velocidade de rotação do parafuso, potência do motor de acionamento do sistema hidráulico, potência do sistema de aquecimento do cilindro, dentre outras. Em casos especiais, algumas características não quantificáveis da injetora são imprescindíveis, como revestimento nitretado do cilindro e do parafuso para proteção contra corrosão no caso de injeção de certos materiais, capacidade em variar a velocidade e a pressão de injeção, controle de temperatura, etc. No caso da compra de uma nova injetora, outras características devem ser consideradas, de modo que seja possível utilizá-la para uma gama de produtos variados.

A seleção da máquina injetora é uma das primeiras atividades da fase de planejamento do processo de produção do componente. Considerando a sua influência na qualidade do componente injetado, custos de produção e determinação de características construtivas do molde, a seleção da máquina injetora deve ser feita o quanto antes e com atenção aos inúmeros parâmetros e suas relações com o projeto do componente e do molde.

2.6.2 O Ciclo de Injeção

Uma vez selecionada a máquina injetora, é de responsabilidade da equipe de produção o ajuste dos parâmetros do processo de moldagem. Os ajustes são feitos com base nas características do componente a ser injetado, visando o cumprimento dos requisitos de projeto do componente e das necessidades de produtividade e custos de produção. O planejamento do processo de produção recai então sobre a seleção dos parâmetros relacionados a cada uma das etapas do ciclo de injeção.

De forma didática, a literatura especializada normalmente subdivide o ciclo de injeção em quatro etapas: injeção ou enchimento, pressurização e recalque, resfriamento e extração da peça. De outra forma, alguns autores subdividem o ciclo de injeção em tempo de fechamento do molde, tempo de injeção, tempo de resfriamento, tempo de abertura do molde e tempo de extração da peça. Na prática, o ciclo de injeção é muitas vezes simplificado em três etapas: plastificação do material, injeção ou moldagem e extração. Embora a segunda forma de subdivisão seja adequada para calcular tempos de produção, a primeira proposta considera melhor as condições de produção do componente, e será adotada como base para as considerações feitas ao longo deste texto.

O projeto do componente deve considerar as necessidades e os fenômenos que ocorrem em cada uma das etapas do ciclo de injeção, principalmente com relação ao comportamento do material, variando-se a pressão e a temperatura ao longo do ciclo. Muitas das relações entre os

parâmetros do processo de moldagem por injeção e o resultado obtido através do componente injetado, já foram exemplificadas na seção 3.1.

Por ser geralmente a maior parcela do tempo total do ciclo de injeção, tendo portanto um forte impacto na produtividade alcançada e também na qualidade do componente injetado, é importante estabelecer algumas relações entre as características do componente e a etapa de resfriamento. A diminuição do tempo do ciclo de injeção pode significar grandes ganhos de produtividade, principalmente no caso de grandes séries de produção, o que é regra no processo de fabricação por injeção. Ao fazer esta consideração no momento da determinação da geometria do componente, o projetista pode contribuir para a redução no tempo necessário para o ciclo de injeção, principalmente ao reduzir a espessura de parede do componente.

Existem algumas propostas de cálculos analíticos e soluções numéricas para aproximar o tempo de resfriamento (MALLOY, 1994). A estimativa do tempo total do ciclo de injeção é uma informação útil para o cálculo dos custos de produção do componente.

REES (1995) relaciona como principais responsáveis pelo tempo de duração do ciclo de injeção as características geométricas do componente a ser injetado, sistema de refrigeração do molde, o material do componente, a temperatura do moldado no momento da extração, a velocidade de preenchimento da cavidade, o volume de material injetado por ciclo, o tempo de injeção e o tempo de resfriamento do moldado.

As características geométricas do componente injetado que mais influenciam no tempo do ciclo de injeção são a uniformidade da espessura de parede e a própria espessura de parede. O projeto do molde também tem grande influência sobre o tempo total do ciclo de injeção, principalmente a capacidade do molde em trocar calor, extrair o ar aprisionado e o tempo necessário para a extração do componente moldado (REES, 1995).

A escolha do material também implica em um maior ou menor tempo de duração do ciclo de injeção, uma vez que materiais semicristalinos demoram mais para atingir a temperatura de injeção e para resfriarem-se do que os materiais amorfos, devido a uma maior quantidade de calor necessária para a transformação da estrutura cristalina do material (REES, 1995). Além disso, materiais mais viscosos implicam em menor velocidade de injeção.

O sistema de refrigeração do molde deve ter uma boa eficiência, a fim de acelerar o resfriamento da peça injetada para a extração. Outros fatores que podem ser relacionados com o tempo necessário para o resfriamento do componente são: condutividade térmica do material do molde, material do componente, diferença de temperatura entre o material injetado e o líquido refrigerante, vazão do líquido refrigerante e área de troca de calor. A busca por um resfriamento

homogêneo também é importante, a fim de homogeneizar as tensões de cisalhamento e reduzir as tensões residuais, obtendo-se maior estabilidade dimensional e minimizando o empenamento.

A capacidade da máquina injetora influencia o tempo do ciclo de injeção pela maior ou menor capacidade de injeção (volume do cilindro, capacidade de plastificação do material e pressão hidráulica) e força máxima de fechamento, limitando o volume máximo de material injetado por ciclo e a máxima velocidade de injeção.

A tabela 2.7 relaciona os parâmetros ajustados para cada etapa do ciclo de moldagem com parâmetros de projeto do componente.

Tabela 2.7 - Relações entre os parâmetros de processo e o componente injetado.

Etapas do Ciclo de Injeção	Parâmetros de Processo Relacionados	Relações com o Componente Injetado
Enchimento	<ul style="list-style-type: none"> • pressão de injeção • velocidade de injeção • temperatura de injeção • temperatura do molde 	<ul style="list-style-type: none"> • uniformidade no preenchimento • nível de isotropia da microestrutura obtida • nível de tensões residuais • resistência mecânica
Pressurização e Recalque	<ul style="list-style-type: none"> • pressão máxima • tempo de recalque 	<ul style="list-style-type: none"> • contração diferenciada e grau de empenamento • qualidade do componente obtida • faixa de tolerância obtível • formação de rebarbas e rechupes
Resfriamento	<ul style="list-style-type: none"> • temperatura do molde • temperatura e difusividade térmica do material injetado • temperatura e vazão do líquido refrigerante • temperatura de extração 	<ul style="list-style-type: none"> • ocorrência de empenamento • homogeneidade da microestrutura do componente • estabilidade dimensional • tensões residuais • resistência mecânica
Extração	<ul style="list-style-type: none"> • força de extração 	<ul style="list-style-type: none"> • marcas no componente injetado • ocorrência de deformações

A interdependência entre os parâmetros de processo torna a tarefa de ajuste da máquina injetora bastante complexa, sendo definida após ciclos de tentativa e erro. Alguns *softwares* permitem a simulação do processo de moldagem por injeção através da variação dos parâmetros de injeção e a obtenção de quadros indicativos dos valores ótimos para cada um dos parâmetros. Parece haver uma necessidade para que estudos mais científicos sejam feitos, de modo a tornar a atividade de ajuste dos parâmetros da máquina injetora menos empírico.

2.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As características geométrica do componente e o material selecionado têm um impacto significativo no custo de fabricação do molde e na qualidade do componente moldado por injeção, assim como as características construtivas do molde exercem grande influência sobre o processo de produção do componente. A observação deste grau de compromisso entre o projeto do componente a ser injetado, o projeto e fabricação do molde e o processo de moldagem por injeção, é de fundamental importância para a maximização dos resultados pretendidos, sejam eles relacionados com redução de custos e tempo de desenvolvimento, ou melhoria na qualidade.

Portanto, no caso de projeto de componentes injetados, tem-se que considerar, além de aspectos de manufatura do componente, aspectos de fabricação do molde, o que reforça ainda mais a adoção de uma abordagem de projeto para manufatura dentro deste domínio. O grande consumo de tempo para a fabricação do molde, e os maiores custos envolvidos no caso da necessidade de alterações na etapa de fabricação da peça, tornam mais importante a antecipação dos problemas de produção na fase de projeto do componente. Desta forma, é de fundamental importância que as características geométricas e o material do componente sejam definidos não só considerando os requisitos funcionais, mas também aspectos de fabricação do molde e da moldagem. O projetista do componente deve estar ciente dos parâmetros de fabricação do molde e moldagem do componente sobre os quais tem controle através da determinação das características da peça.

Durante o projeto dos moldes para injeção de plástico e, em particular, o projeto dos sistemas de alimentação e posicionamento das cavidades, deve-se considerar elementos ou parâmetros presentes em todo o ciclo de vida da peça, desde o projeto conceitual até a sua utilização, o que o torna bastante complexo e iterativo. Os parâmetros devem ser considerados de forma conjunta já que são interdependentes. Por exemplo, existe uma grande dependência entre o posicionamento das cavidades e o sistema de canais. Assim, o sistema de canais e o posicionamento das cavidades devem ser feitos de forma conjunta e iterativa, e ainda considerando outros fatores do processo como tamanho de lote, produtividade, características da máquina injetora e requisitos de qualidade da peça.

Em resumo, pode-se relacionar como características do processo de desenvolvimento de componentes de plástico injetados o seguinte:

- é longo, complexo, segmentado e multiorganizacional;
- possui forte característica interdisciplinar (várias áreas do conhecimento envolvidas);

- possui grande quantidade de parâmetros envolvidos, guardando fortes inter-relações;
- as características geométricas do componente a ser injetado exerce grande influência sobre os ajustes dos parâmetros de processo e nos custos do molde. Os parâmetros de processo, por sua vez, possuem forte impacto na qualidade e no comportamento do produto pós-processado;
- é prática comum na indústria, o emprego de conhecimento empírico na solução de problemas de projeto.

Tendo em mente ainda o forte grau de interação e a complexidade inerente ao projeto de componentes de plástico injetados, fica claro a necessidade de que sejam adotadas metodologias, procedimentos e recomendações, objetivando o alcance de um projeto ótimo, preocupado com uma relação de compromisso entre os inúmeros parâmetros, necessidades e requisitos de projeto. Além disso, as atuais exigências de projeto impostas por pressões de mercado e um ambiente altamente competitivo, criam uma demanda por novas abordagens, sistemáticas e metodologias de projeto que tenham por objetivo melhorar a qualidade dos produtos, reduzir custos e tempo de desenvolvimento. A abordagem de projeto adotada pelas empresas do setor, caracterizada por ser um processo seqüencial e com pouca eficiência na troca de informações entre os grupos envolvidos, não suportam de maneira eficiente uma atividade com estas características. Com este sentimento, alguns autores propuseram recentemente metodologias, procedimentos e diretrizes, buscando melhorar o processo de desenvolvimento de componentes de plástico injetados. Estas proposições formam o objeto de estudo tratado no próximo capítulo.

CAPÍTULO 3

ABORDAGENS DE PROJETO E NOVAS TENDÊNCIAS PARA O PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE COMPONENTES DE PLÁSTICO INJETADOS

3.1 INTRODUÇÃO

O contínuo aumento na demanda por componentes de plástico injetados e as exigências por melhor qualidade e pela redução no tempo de desenvolvimento de novos produtos, contribuíram para o surgimento de uma grande quantidade de novas propostas de melhorias e ferramentas de auxílio para o processo de desenvolvimento de produtos de plástico injetados. Este capítulo tem por objetivo identificar as bases e as novas tendências sobre as quais foram constituídas tais propostas, bem como reproduzir de forma resumida alguns pontos que são importantes para os propósitos desta dissertação. É um resumo das atuais tendências no domínio de abordagens e metodologias para o projeto de produtos de plástico injetados.

O capítulo inicia com algumas definições básicas para os termos metodologia de projeto, métodos de projeto, técnicas de projeto e processo de desenvolvimento. São definições fundamentais para o entendimento do texto que segue e para as proposições feitas no Capítulo 4. As definições para estes termos são necessárias, uma vez que não há na literatura um consenso muito claro e uma uniformidade com relação aos significados.

Antes da apresentação das metodologias e ferramentas de auxílio para o caso específico de desenvolvimento de componentes de plástico injetados, é feita uma breve análise sobre as metodologias clássicas de projeto e sua adequação ao projeto de componentes de um modo geral.

Considerando que a grande maioria das novas propostas para a condução do processo de desenvolvimento de componentes moldados por injeção tem base nos conceitos da engenharia simultânea, e que o conceito parece ser adequado às características do campo de projeto em questão, julgou-se que deveriam ser feitas considerações sobre esta tendência de abordagem de projeto, amplamente discutida nos meios acadêmicos e industriais. Uma discussão quanto a adequação do emprego dos conceitos de engenharia simultânea ao processo de desenvolvimento de componentes moldados por injeção também é feita.

O capítulo termina com a apresentação e análise de algumas propostas específicas para o tratamento do processo de desenvolvimento de componentes injetados.

3.2 ASPECTOS GERAIS SOBRE METODOLOGIAS DE PROJETO

3.2.1 Definições Básicas

Para PAHL e BEITZ (1996), em linhas gerais, uma metodologia de projeto consiste na partição do processo de desenvolvimento de produtos em fases e etapas, com métodos de trabalhos específicos associados. Desta forma busca-se particionar um processo de grande complexidade em etapas, para melhor entender e tratar o problema de projeto. O objetivo é aumentar a probabilidade de sucesso da complexa tarefa de projeto através do planejamento e da execução sistemática de uma metodologia.

Com base nos trabalhos de Abbagnano, Finkelstein, Roozenburg e Eekels, OGLIARI (1999) define metodologia de projeto como um sistema de métodos (conjunto de procedimentos) que provê suporte às atividades dos projetistas, orientando-os para a busca de melhores soluções para os problemas de projeto. Os métodos, por sua vez, são um sistema de regras metódicas que determinam classes de possíveis procedimentos e ações, as quais conduzirão, muito provavelmente, a um caminho planejado para a satisfação de uma dada meta (Hubka *apud* OGLIARI, 1999). Disto resulta que tanto a metodologia de projeto, quanto os métodos de projeto, podem ser vistos como um conjunto de procedimentos que definem *a priori* o que deve ser executado para que um determinado fim seja atingido.

Ainda na definição de OGLIARI (1999), o processo de projeto é a decorrência da aplicação de uma determinada metodologia de projeto dentro de um determinado contexto e de um ambiente de desenvolvimento de produto. Considerando que nem sempre uma metodologia de projeto é observada, o autor define ainda o processo de projeto, de uma forma mais livre, como toda a extensão da ação do projetista (agente de projeto) sobre um determinado conjunto de informações que caracteriza o problema de projeto e que resultará num conjunto de informações na forma de solução de projeto. De forma mais concreta, pode-se dizer que o processo de projeto inicia-se com o estabelecimento do problema de projeto e termina com a obtenção de uma solução configurada na forma de um produto. Nesta dissertação o termo “processo de desenvolvimento” será utilizado como sinônimo para processo de projeto.

3.2.2 Metodologias Genéricas de Projeto

A literatura especializada apresenta sob a forma de proposições metodológicas e normas, uma série de propostas para a organização do processo de desenvolvimento de produtos através de sistemáticas procedurais. Conforme observado por OGLIARI (1999), após a análise de algumas metodologias clássicas, estas propostas são em grande parte bastante semelhantes quanto à forma, podendo-se estabelecer um paralelo entre elas, e definir uma estrutura básica comum, conforme mostra a figura 3.1. Basicamente todas consideram uma etapa de entendimento da tarefa de projeto, seguindo após as etapas de geração de conceitos (projeto conceitual), análises preliminares (projeto preliminar) e, por fim, detalhamento para a produção (projeto detalhado).

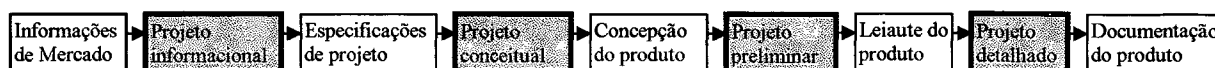


Figura 3.1 - Estrutura básica das metodologias de projeto (adaptado de OGLIARI, 1999).

As etapas podem ser caracterizadas da seguinte forma:

Esclarecimento da Tarefa de Projeto: nesta etapa deve ficar claro o problema de projeto proposto, tanto sob o aspecto técnico (necessidades dos clientes, requisitos, especificações e restrições de projeto, etc.), quanto sob o aspecto gerencial (prazos, objetivos, metas, recursos disponíveis, cronograma, tarefas a serem executadas, responsáveis, etc.). O bom entendimento destas questões desde o princípio dos trabalhos, é fundamental para a eficiente condução das etapas subseqüentes e para evitar necessidades de reprojetos, envolvendo gastos e consumo de tempo adicionais. Todas as ações tomadas nas etapas seguintes do processo de desenvolvimento serão calcadas nas informações coletadas e interpretadas nesta etapa, justificando a importância de um levantamento bem executado das informações e o perfeito entendimento da tarefa de projeto. Problemas gerenciais e técnicos são em sua maioria evitados nas etapas posteriores, se a tarefa de projeto for bem entendida.

É comum classificar as informações tratadas nesta etapa nas seguintes categorias:

necessidades de projeto: declaração obtida junto aos clientes de projeto, expressam desejos ou exigências;

requisitos de projeto: tradução das necessidades em linguagem técnica, quando possível devem ser mensuráveis;

especificações de projeto: atributos técnicos que o produto deve satisfazer. São obtidos a partir dos requisitos de projeto. Devem ser quantificados através de magnitude e unidade física.

Alguns autores (BACK, 1998; FONSECA, 1996), ainda mencionam a categoria requisitos de usuário como um pré tratamento dado às necessidades de projeto, a fim de tornar a linguagem simples que caracterizam as declarações dos clientes de projeto, mais adequada à linguagem de projeto, facilitando a sua tradução em requisitos de projeto.

Métodos ou técnicas de projeto podem ser adotados como apoio a esta etapa, tais como: questionários estruturados para identificação de necessidades dos clientes, o QFD (Desdobramento da Função Qualidade), análise do ciclo de vida e dos clientes de projeto associados (DFLC), lista de requisitos padrões, dentre outras.

Espera-se como saída desta etapa um plano de projeto, além de um perfeito entendimento do problema de projeto, uma lista de requisitos e de especificações de projeto que o produto deve satisfazer, bem como suas respectivas análises quanto ao grau de importância, o que servirá de apoio para as decisões tomadas nas etapas seguintes do projeto.

Projeto Conceitual: a geração do conceito ou dos conceitos de projeto nesta etapa é uma atividade de grande responsabilidade, uma vez que afeta o desempenho do produto em serviço e os gastos de produção e manutenção, ou seja, tem um grande impacto no ciclo de vida do produto. Embora seja uma etapa que não envolve muitos recursos, é uma etapa que compromete muitos recursos.

A forma como a etapa é conduzida depende do objeto de projeto, mas em qualquer caso, o conceito deve ser tratado e avaliado com cuidado. Para alguns autores, no caso de reprojeto a etapa tem pouca importância. Segundo MAFFIM (1998), projetos pouco inovadores não necessitam cumprir a etapa de projeto conceitual, sendo que a complexidade do objeto de projeto é importante para a definição da sistemática a ser adotada.

Em continuidade ao projeto informacional, o projeto conceitual deve procurar satisfazer a todos os requisitos, especificações e restrições de projeto relacionados. As informações obtidas no projeto informacional devem estar sempre presentes durante a execução das atividades e tomadas de decisão. Busca-se evitar a propagação de erros e os ciclos de reprojeto. Segundo PERERA (1997), um projeto conceitual bem realizado, com a consideração de todos os parâmetros relacionados com o ciclo de vida, contribui para o processo de desenvolvimento cooperativo e integrado.

A execução do projeto conceitual exige a consideração extensiva de princípios e alternativas de solução. A presença de muitas incertezas, sendo que grande parte das informações disponíveis são qualitativas, exige criatividade e um certo nível de experiência por parte do projetista para a geração e escolha do(s) melhor(e) conceito(s) de projeto, segundo o nível de

satisfação das necessidades, requisitos e especificações de projeto. Alguns métodos e técnicas de projeto auxiliam nestas tarefas como a análise funcional, técnicas de estímulo da criatividade, *features* predefinidas, matriz morfológica e técnicas de seleção de concepções pela valoração de conceitos.

Em resumo, procura-se desenvolver nesta etapa alternativas de solução para o problema de projeto, bem como análises de qualidade e de viabilidade técnica e econômica destas alternativas.

Como resultado desta etapa tem-se um ou mais conceitos de projeto, o que não é um resultado muito concreto, mas com grande impacto no resultado do projeto. O grau de detalhamento do conceito obtido deve ser suficiente para o desenvolvimento do projeto preliminar. É preciso que o conceito de projeto esteja bem definido antes que tenha início o projeto preliminar. Tentativas de combinar as duas etapas resultam numa imensa perda de recursos (PERERA, 1997).

Projeto Preliminar: o conceito torna-se mais concreto no projeto preliminar. Os princípios e formas que antes eram apenas básicos e genéricos, são tratados com um nível de informação mais elevado. Em outras palavras, informações mais detalhadas e específicas são geradas ou adicionadas ao processo. O projeto passa a ser desenvolvido com maiores considerações técnicas e econômicas. Desta forma pode-se tomar decisões mais concretas, com base em informações que somente podem ser obtidas a partir de um conceito inicial. Além disso, informações muito detalhadas não são tratadas no projeto conceitual, a fim de permitir um maior grau de liberdade para as propostas de solução, ou seja, para não restringir o campo de soluções possíveis e estimular a criatividade.

Neste sentido, são atividades típicas desta etapa do processo de desenvolvimento, cálculos matemáticos, análises numéricas mais elaboradas, escolha definitiva da melhor solução, definições de dimensões e tolerâncias, otimização dos parâmetros de projeto, seleção de itens padrões, seleção do material, modelamento em sistema CAD, prototipagem e testes funcionais.

O resultado é a obtenção do desenho do produto tecnicamente e economicamente aprovado, com arranjos e formas bem definidos, de modo a satisfazer aos requisitos de projeto.

Projeto Detalhado: ao desenho do produto definido no projeto preliminar adiciona-se os últimos detalhes, com instruções suficientes para que não restem dúvidas no momento da fabricação, testes de qualidade, montagem, embalagem, expedição e utilização do produto. As cotas são checadas, define-se as últimas tolerâncias e os níveis de acabamento superficial. Pode-se também fazer estimativas de custo mais precisas.

Como resultado desta etapa de projeto, tem-se os documentos completos para que o produto possa ser fabricado, montado, embalado e expedido. Manuais de operação também podem ser elaborados nesta etapa.

Embora grande parte das metodologias propostas sigam estas quatro etapas, quanto ao conteúdo, entretanto, as metodologias existentes abordam desde procedimentos estruturados de condução do projeto até ferramentas mais específicas de apoio às diversas tarefas presentes no processo de desenvolvimento de produto. Dentro desta área de estudo destacam-se, com relação às abordagens de projeto, as correntes sintática e semântica. As metodologias propostas pertencentes à escola sintática de projeto preocupam-se mais em definir um procedimento estruturado para a atividade de projeto, estabelecendo modelos para o processo de desenvolvimento de produtos. Portanto, ao estabelecer uma estrutura de procedimentos, este tipo de abordagem tem como preocupação principal os aspectos morfológicos do processo. Enquadram-se neste grupo as propostas de ASIMOW (1968) e PUGH (1991). Já as filosofias semânticas, em sintonia com a chamada escola alemã de projeto, organizam metodologias com base na estruturação funcional para a resolução do problema de projeto. Para esta categoria de metodologias, todo sistema técnico processa grandezas do tipo material, energia e sinal. Cabe ao projetista identificar as funções do sistema técnico, para que as grandezas de entrada sejam transformadas nas grandezas de saídas desejadas. Uma vez identificadas as funções, a tarefa passa a ser a definição de princípios de solução que, quando combinados na forma de conceitos de projeto, devem satisfazer aos requisitos funcionais do sistema técnico. Dentro deste grupo situam-se as propostas de KOLLER (1985) e RODENACKER (1991).

De uma forma resumida, pode-se dizer que as filosofias sintáticas de projeto têm como principal preocupação o processo de projeto, enquanto que as filosofias semânticas estão centradas no problema de projeto e, mais precisamente, no projeto de sistemas técnicos.

Desta classificação resulta que dois grandes aspectos do processo de desenvolvimento de produto são contemplados: o objeto de projeto e o processo de projeto. Parece ser evidente que, dada a importância dos dois aspectos, uma proposição metodológica torna-se mais completa ao fazer referência aos dois aspectos. Algumas proposições buscam reunir aspectos sintáticos e semânticos ao definir uma estrutura de procedimentos concomitantemente à representação do problema de projeto através de estruturas funcionais. Dentro deste grupo é clássica a proposta defendida por PAHL e BEITZ (1996).

MAFFIM (1998) classifica as metodologias de projeto em dois grupos: modelos com *foco no problema* e modelos com *foco no produto*. Caracteriza o primeiro grupo a atividade de análise

do problema (alto nível de abstração) seguida por um processo de síntese, que visa gerar alternativas de solução para o problema de projeto. Após análises e refinamentos, o processo deve convergir para a melhor solução. Já o segundo grupo, modelos com foco no produto, é caracterizado por dar ênfase à análise do conceito do produto, conduzindo de forma simultânea às atividades de geração de conceitos e identificação dos requisitos de projeto, num processo contínuo de melhoria do conceito e da definição do problema. O processo é seguido por análises adicionais visando novas melhorias para a solução encontrada. MAFFIM (1998) pondera que aspectos de ambos os grupos podem ser aplicados, dependendo das condições do projeto. Por exemplo, na opinião do autor, apenas problemas de projeto altamente inovadores fazem bom uso da abordagem com foco no problema, categoria que abriga grande parte das metodologias de projeto proposta pela literatura. Embora reconheça a boa fundamentação teórica das propostas com foco no problema e a sua relevância para certos tipos de projeto, o autor questiona a adequação destas propostas com relação à etapa de definição do problema, dentro do contexto de grande parte das situações reais de projeto, caracterizada por não exigir grandes alterações e ter como objeto de projeto um produto já existente.

As metodologias de projeto apresentadas na literatura são normalmente elaboradas com base no projeto de sistemas técnicos e se aplicam a diferentes domínios, sendo que são poucas as considerações feitas com relação ao projeto em nível de componente. Tendo em mente as particularidades e os tipos de problemas presentes no projeto de componentes, parece claro que este tipo de projeto exige uma abordagem particular, diferente daquelas desenvolvidas para atender às necessidades do projeto de sistemas técnicos, sobretudo aquelas pertencentes à escola semântica de projeto. Isto justifica a necessidade de uma análise quanto às características das metodologias e quanto às particularidades do projeto de componentes, o que é feito no próximo item.

3.2.3 Considerações Quanto a Adequação das Metodologias Genéricas ao Projeto de Componentes de Plástico Injetados

A análise feita neste item tem por objetivo verificar a adequação das metodologias genéricas de projeto propostas, ou seja, aquelas que não são destinadas a um domínio específico, ao projeto de componentes e, em especial, ao projeto de componentes de plástico injetados. Como é farto o material bibliográfico com propostas metodológicas de projeto, e sendo este material também bastante conhecido dentro do meio acadêmico, este texto atem-se mais à análise da adequação das metodologias genéricas ao projeto de componentes moldados por injeção, sem

buscar reproduzir os modelos propostos. Uma análise mais específica com relação às metodologias genéricas de projeto pode ser encontrada em OGLIARI (1999).

As metodologias consideradas próprias para o projeto de sistemas técnicos, sendo que grande parte das propostas pertencem a este grupo, dão bastante ênfase ao desenvolvimento do conceito do produto. Como é descrito de forma detalhada em várias fontes bibliográficas (PAHL e BEITZ, 1996; KOLLER, 1985; BACK, 1983; HUBKA, 1996), as abordagens para o projeto conceitual que têm sido propostas pela escola semântica de projeto recomendam o levantamento das necessidades de projeto e posterior tradução em requisitos de projeto. Na seqüência o problema é tratado através de um processo de desdobramento funcional do objeto de projeto na forma de uma estrutura de funções. A cada uma das funções parciais identificadas são associados princípios de solução. As funções são tratadas como a transformação de entradas em saídas, ou como a capacidade de satisfazer um determinado propósito (MORTENSEN, 1999). Os princípios de solução devem ser então combinados, de modo a sintetizar conceitos (alternativas de solução) que satisfaçam, por sua vez, aos requisitos de projeto. Dentre os conceitos gerados é selecionado aquele que parece ser o mais indicado para a resolução do problema de projeto, muitas vezes representado por uma função global.

Embora PAHL e BEITZ (1996) defendam a idéia de que o projetista deva estabelecer o seu sistema técnico particular, podendo este ser também um subsistema ou um componente, e especificar a fronteira de relação do objeto de projeto com o meio que interage através de entradas e saídas, é difícil, se não impossível, a identificação do fluxo de energia, material e sinal para um componente. Esta dificuldade é ainda maior para o caso de peças que desempenham por si só uma função dentro de um sistema, ou seja, não integram um determinado mecanismo. Componentes de plástico injetados muitas vezes enquadram-se nesta situação. Como exemplo pode-se citar um pára-choque de um automóvel, a tampa de um recipiente ou o gabinete de um microcomputador. Adiciona-se a isto o fato de que componentes são normalmente mais simples sob o ponto de vista funcional quando comparados com sistemas técnicos, sendo que a determinação das funções relacionadas ao componente é, muitas vezes, uma tarefa mais evidente.

A identificação do fluxo de energia, material e sinal tal como é sugerida para o auxílio na tarefa de identificação de funções de sistemas técnicos, não é, portanto, uma abordagem adequada para grande parte dos casos de projeto de componentes de plástico injetados. Não estão sendo questionados o processo de identificar funções, a busca por alternativas de solução e a seleção da melhor solução, nem mesmo a maneira como este processo é recomendado para o caso de sistemas técnicos, ou seja, profunda análise e desdobramento funcional e utilização de técnicas de

projeto elaboradas. Os métodos e técnicas de projeto empregados, que se adequam melhor a projetos mais complexos, é que não parecem adequados ao desenvolvimento de componentes de um modo geral.

Conforme observado por TAURA (1995), o processo de desenvolvimento de um sistema técnico, segundo as metodologias e teorias de projeto, inicia a partir da abstração e decomposição do problema de projeto, passa a ser tratado de forma mais concreta no nível de projeto dos componentes, e termina num processo de composição (montagem dos componentes).

MAFFIM (1998) classifica as abordagens de projeto quanto ao método empregado para a geração de princípios de solução em dois tipos:

- tipo A: pertencem a este grupo aquelas abordagens em que um único conceito é gerado, desenvolvido e avaliado. Conforme o resultado da avaliação, o conceito obtido pode ser modificado ou substituído por uma outra solução;
- tipo B: neste grupo estão as metodologias que propõem a geração de vários princípios de solução, dando origem a vários conceitos. Através de um processo de desenvolvimento, análises e avaliações, a melhor solução é escolhida.

Através de alguns estudos de caso e pesquisa na indústria, MAFFIM (1998) chegou a conclusão que existe uma forte associação entre o projeto de produtos inovadores com a geração e o desenvolvimento de vários princípios de solução (abordagem tipo B), e entre projetos por melhorias com a consideração de um único conceito (abordagem tipo A).

Em nível de componente, o espaço para a consideração de um maior ou menor número de conceitos está na dependência da estratégia adotada no projeto do sistema técnico relacionado, e nas restrições impostas. Por exemplo, no caso de um sistema que foi desenvolvido visando o amplo emprego de componentes padronizados, sobra pouca margem para a geração de novos conceitos no projeto em nível de componente.

Um outro ponto que deve ser considerado é que, devido às características funcionais de componentes em geral, torna-se difícil a identificação de uma estrutura funcional e suas variantes para um único componente, como é proposto para o caso de projeto de sistemas técnicos, a fim de facilitar a identificação de alternativas de solução para o problema de projeto. Mesmo que o componente exerça mais de uma função, o que é comum em componentes injetados, são estas funções, na maioria dos casos, independentes entre si. Se a independência entre as funções de um único componente for verificada, torna-se inviável e desnecessária a formulação de estruturas funcionais combinadas (síntese funcional), uma vez que as funções podem ser tratadas de forma independente.

RINGSTAD (1999) observou que a transição entre a definição do conceito do componente e a etapa de projeto preliminar não é muito abordada na literatura, e que as metodologias clássicas de projeto pouco descrevem sobre os detalhes do projeto preliminar. O autor propõe então, uma abordagem para as primeiras etapas do projeto do componente, cuja idéia central é a necessidade de focalizar as atividades relacionadas com os problemas importantes deste processo. O objetivo é criar condições para lidar com uma grande quantidade de interações entre propriedades e parâmetros de projeto. A hipótese considerada é que “um componente tem, para cada caso, uma ou poucas propriedades decisivas que determinam e ajustam as formas e dimensões”. Com base nisto, RINGSTAD (1999) estabelece que um bom projeto de um componente depende da identificação destas propriedades e de concentrar as atividades de projeto sobre elas. A proposta do autor é então estruturada em duas fases: organização das informações de projeto e entendimento do conceito de projeto, a primeira, e identificação das propriedades decisivas e estabelecimento das características do componente, a segunda.

Assim, parece evidente que o projeto de componentes deva ser tratado de uma forma particular, justificando o estudo e proposições de metodologias específicas, embora se possa utilizar muitas recomendações e ferramentas propostas pelas metodologias semânticas de projeto.

As propostas pertencentes à escola sintática de projeto, conforme já descrito no item 3.2.2, preocupam-se mais com a forma do processo, com os procedimentos, ou seja, focalizam mais o processo de desenvolvimento que propriamente o objeto de projeto. Parecem ser mais viáveis se forem propostas para um domínio específico de projeto. Grande parte das abordagens de projeto para o caso de componentes de plástico injetados identificadas através da revisão bibliográfica enquadram-se dentro deste grupo, e buscam organizar o processo de desenvolvimento dentro de uma filosofia de engenharia simultânea, algumas sendo implementadas computacionalmente.

Em resumo, a adoção sistemática de métodos e técnicas tal como é sugerido para o projeto de sistemas técnicos, principalmente pela escola semântica de projeto, não parece muito adequada ao projeto de componentes, considerando a maior simplicidade, dificuldade para identificação de um processo de transformação de energia, material e sinal, ausência de mecanismos e princípios físicos em grande parte dos casos. Enquanto o conceito de um sistema técnico é traduzido em princípios básicos, o conceito de um componente é traduzido em formas básicas. Além disso, o número de passos e a complexidade das sistemáticas propostas requerem tempo para abstração, síntese e análise. O projeto de componentes possui maior afinidade com a geração e identificação de formas adequadas para um universo limitado de funções. Ou seja, o

conceito de componentes está mais ligado a formas geométricas e a funções sem correlações entre si, que a princípios físicos e síntese de funções. A tabela 3.1 sintetiza as diferenças básicas comentadas entre o projeto de sistemas técnicos e projeto de componentes.

Tabela 3.1 - Diferenças básicas entre projeto de sistemas técnicos e projeto de componentes.

Aspectos de projeto	Sistema Técnico	Componente
Entendimento do Problema	com foco em funções	com foco em parâmetros
Nível de abstração	maior	menor
Geração do conceito	principalmente princípios físicos	principalmente conceitos geométricos
Método	síntese funcional	associação função- <i>feature</i> , análise e projeto de parâmetros

Deste modo, deve-se considerar para o caso de projeto de componentes, também aquelas propostas de abordagem com ênfase em parâmetros e *features* de projeto, dado o menor nível de abstração deste tipo de projeto.

3.2.4 Propostas com Ênfase na Relação entre Função e Features de Projeto

Uma vez que é menor a abstração em nível de projeto de componentes, e que a geração de conceitos neste tipo de projeto está mais relacionada com a variação de conceitos geométricos, alguns autores têm proposto abordagens de projeto com ênfase na relação entre funções e *features*, sobretudo *features* geométricas.

HANADA e LEIFER (1989) fazem uso do desdobramento de funções do processo de moldagem por injeção apenas como forma de estruturar o conhecimento armazenado no sistema especialista proposto pelos autores. A análise da geometria do componente é feita com base em regras de projeto previamente armazenadas no sistema, que analisa as *features* definidas pelo projetista no momento do modelamento do componente em sistema CAD. Dentre outras propostas que dão ênfase à associação entre função e *features* geométricas, pode-se citar as propostas de WOOD e ULLMAN (1996), SEBASTIAN (1993) e SCHULTE e WEBER (1993).

WOOD e ULLMAN (1996) propõem que o projeto de componentes injetados sejam desenvolvidos com base em *features*. Na proposta dos autores, o conceito de *feature* é definido como o elemento básico de um componente, uma forma geométrica que satisfaz os requisitos funcionais do componente. Partindo da hipótese de que poucas funções são associadas a *features* geométricas (hipótese aceita por muitos autores), os pesquisadores realizaram uma pesquisa através de entrevistas com profissionais do setor de moldagem por injeção, com o objetivo de relacionar as principais funções atribuídas a componentes de plástico injetados. Chegaram à

conclusão de que há uma forte relação entre *feature* e função, existindo uma grande quantidade de funções associadas a *features*, contrariando, portanto, a hipótese inicial. A tabela 3.2 relaciona as principais *features* identificadas, frequência com que aparecem no universo de componentes pesquisados e associações mais usuais com funções.

Tabela 3.2 - Principais *features* de componentes de plástico injetados e funções relacionadas, segundo WOOD e ULLMAN (1996) (adaptado de OGLIARI, 1999).

<i>Features</i>	%	Função	%	Função	%	Função	%
Nervuras (<i>ribs</i>)	61	reforçar	31,6	suportar	16,9	guiar	13,7
Paredes (<i>walls</i>)	96	suportar	27,8	cobrir	12,4	reforçar	7,7
Ranhuradas (<i>grooves</i>)	46	padronizar (estética)	12,7	assistir	7,4	posicionar e reduzir	7,3
Furos (<i>holes</i>)	66	acoplar	17,6	posicionar	17,6	montar	14,8
Furo Escareado (<i>countersink</i>)	21	esconder	32	assistir	16	acoplar	12
Ressaltos (<i>bosses</i>)	51	acoplar	15,2	ejetar	13,2	montar	12,2
Protusões ("orelhas") (<i>protusions</i>)	61	manter	15,3	posicionar	12,7	alinhar	11,7
Discos (<i>disks</i>)	11	reforçar	46,2	suportar	15,4	alinhar, espaçar, reduzir	7,7
Encaixes (<i>slots</i>)	46	guiar	14,8	posicionar	11,5	manter e transferir	9,8
Janelas (<i>windows</i>)	44	promover acesso	29,2	alinhar	15,3	ver	13,9
Lingüeta de engate rápido (<i>snaps</i>)	20	manter	44,8	segurar	20,7	acoplar	13,8

O número médio encontrado de funções associadas a cada *feature* foi 19. Embora a pesquisa tenha sido feita com 27 profissionais de uma mesma empresa fabricante de microcomputadores e impressoras, o que limita a pesquisa a um certo domínio, os resultados servem como um indicativo. A proposta final dos autores é, então, relacionar cada uma das funções a *features* predefinidas implementadas em sistema CAD.

A grande quantidade de funções encontradas e a associação com *features* (parte elementar de um componente), encoraja a adoção da análise funcional em projetos de componentes de plástico injetados, porém não com base na transformação de energia, material e sinal, mas sim com base em características geométricas predefinidas. Disto pode-se concluir ainda, que as funções típicas de componentes de plástico injetados podem ser satisfeitas, ao menos parcialmente, através de *features* geométricas predefinidas, o que é uma forma de registrar o conhecimento e conduzir o projeto para que seja facilmente fabricado e para que atenda a outras necessidades de projeto. De certo modo, entretanto, pode inibir a busca por novas formas e princípios de solução. Esta abordagem também torna-se difícil de ser empregada sem a adoção de sistemas CAD que incorpore as *features* predefinidas, e sem a limitação a um determinado domínio.

Alguns sistemas especialistas também foram propostos para o auxílio na construção do modelo geométrico com base em conhecimentos específicos para o domínio de componentes de plástico injetados. Como estes sistemas foram estruturados visando dar suporte a uma abordagem de projeto dentro dos preceitos da engenharia simultânea, discutir-se-á inicialmente na próxima seção, o emprego da engenharia simultânea como filosofia de projeto, considerando ainda que esta tem sido uma abordagem bastante discutida e recomendada para vários domínios de projeto. Posteriormente, no item 3.3.4, são apresentadas as propostas sistemáticas que servem de base para alguns sistemas especialistas dedicados.

3.3 A ENGENHARIA SIMULTÂNEA COMO ABORDAGEM DE PROJETO

Grande parte das propostas mais recentes de melhoria e auxílio na atividade de desenvolvimento de componentes de plástico injetados sugere a integração das empresas, das pessoas e dos conhecimentos envolvidos com o processo de desenvolvimento. Alguns justificam que a condução do processo de desenvolvimento dentro de um ambiente de engenharia simultânea é fundamental para corresponder as atuais exigências em relação a redução no tempo de desenvolvimento de novos produtos. Desta forma, pretende-se nesta seção caracterizar a denominada filosofia de engenharia simultânea, verificar o estado da arte de sua aplicação no domínio específico de componentes de plástico moldados por injeção e discutir quanto ao seu emprego e adequação.

3.3.1 Fundamentos

A realização de um bom projeto depende do atendimento de requisitos conflitantes relacionados com as etapas do ciclo de vida do produto. A complexidade que reside na tarefa de identificar e julgar os requisitos de projeto, além de atendê-los dentro das condições possíveis e de relações de compromisso, fez surgir a abordagem de projeto cooperativa e integrada, comumente denominada de engenharia simultânea, em oposição à abordagem seqüencial das atividades de projeto.

Uma definição concisa e completa sobre a engenharia simultânea é dada por Cleetus. Citado por COMPANATION e BYRD (1999) Cleetus define a engenharia simultânea como *“uma abordagem sistemática, integrada e simultânea para o projeto de produtos e para todos os processos relacionados, incluindo a manufatura, com ênfase no atendimento das expectativas*

dos clientes e cooperação multifuncional, de forma tal que as decisões relacionadas com as etapas do ciclo de vida do produto são feitas de maneira simultânea, sincronizada e consensual, desde as primeiras etapas do desenvolvimento do produto". Ultimamente tem sido quase um consenso tratar a engenharia simultânea como uma filosofia para a abordagem da tarefa de desenvolvimento e fabricação de novos produtos. O termo é, contudo, ainda bastante vago e reflete a abrangência do conceito e da aplicação da engenharia simultânea. Como resultado, uma série de abordagens para a engenharia simultânea tem sido aplicada e proposta pela literatura especializada (CLAUSING, 1994; MILLER, 1993; HARTLEY, 1992), desde conceitos mais simples até outros mais complexos, envolvendo profundas modificações na estrutura organizacional das empresas e investimentos em suporte tecnológico.

Disto resulta que a engenharia simultânea deve ser implementada conforme as características e necessidades das organizações, priorizando a qualidade, o custo ou o tempo de desenvolvimento dos produtos. Por não ter uma forma definida, não pode ser tratada como uma metodologia ou ferramenta de projeto, o que contribui ainda mais para o desentendimento quanto ao seu significado. Algumas características são, entretanto, tratadas como imprescindíveis pelas abordagens genéricas apresentadas pela literatura especializada.

Três abordagens têm sido consideradas na implantação de um ambiente de engenharia simultânea: a engenharia simultânea com base em equipes multifuncionais, a engenharia simultânea com base na infra-estrutura informatizada e a engenharia simultânea com base em sistemas especialistas. A primeira busca considerar os vários aspectos do ciclo de vida do produto desde as etapas iniciais do projeto através de formação de equipes, integrando desta forma os conhecimentos relativos a cada uma das fases do ciclo de vida. A segunda forma de abordagem procura atingir o mesmo objetivo, mas através do emprego de meios de comunicação, redes de informação e *softwares* conectados em rede. Por fim, a terceira opção tem base no registro e recuperação das informações como forma de compartilhar o conhecimento e integrar as funções ou áreas do conhecimento. Baseia-se em sofisticadas bases de dados e sistemas especialistas.

O rápido desenvolvimento de programas e equipamentos de informática, com o aumento na velocidade de processamento, aumento na capacidade de memória e drástica redução nos custos, têm contribuído para que a abordagem com base em equipes seja incrementada através da abordagem com base na infra-estrutura informatizada, o que permite a otimização do processo de gerenciamento e dos vários aspectos relacionados com o produto ao longo do seu ciclo de vida (JO *et al.*, 1993). Esta abordagem híbrida é, para muitos, a única forma para que seja atingido o máximo aproveitamento dos benefícios obtidos com a engenharia simultânea. Uma série de outras

facilidades quanto à comunicação, gerenciamento, análise funcional, armazenamento e recuperação de dados poderia ser relacionada com a adoção de uma eficiente infra-estrutura informatizada.

Para alguns autores, a engenharia simultânea não pode ser adotada sem o apoio de uma infra-estrutura informatizada (CLAUSING, 1994; MILLER, 1993; PRASAD *et al.*, 1998). Os processos sobre os quais é construído um ambiente de engenharia simultânea e o nível de integração e comunicação exigidos, além do efetivo alcance dos objetivos propostos, somente são possíveis com a adoção de uma base informatizada. A tentativa de adoção da engenharia simultânea sem uma infra-estrutura informatizada tende a ser ineficiente, dispendioso e exigir muito tempo para o emprego de suas recomendações (O'FLYNN, 1993). O'FLYNN (1993) considera uma base automatizada de informação confiável e completa como uma necessidade central para qualquer programa de engenharia simultânea bem sucedido.

CLAUSING (1994) relaciona como elementos essenciais da engenharia simultânea os processos simultaneamente desenvolvidos e a participação de equipes multidisciplinares de desenvolvimento. Knight e Jackson, Walket além de Lawson e Karandikar, citados por COMPOSITION e BYRD (1999) consideram a abordagem através de equipes multidisciplinares como o componente de maior significância para a engenharia simultânea. O suporte através de uma infra-estrutura informatizada é, contudo, condição crucial, considerando a vasta quantidade de informações disponíveis e a alta competitividade dos tempos atuais. Conseqüentemente, não faz mais sentido considerar a abordagem da engenharia simultânea com base em equipes multidisciplinares de forma isolada da abordagem através de uma infra-estrutura informatizada. Esta afirmação também é feita pelo próprio CLAUSING (1994).

CLAUSING (1994) apresenta um modelo de implantação da engenharia simultânea dentro de um plano de desenvolvimento da qualidade total, visando a obtenção de produtos num menor espaço de tempo, com melhor qualidade, adequado às necessidades dos clientes e com menor custo. Sendo contrário à idéia de utilização de ferramentas de projeto como uma simples adição ao sistema tradicional de desenvolvimento de produto, o autor propõe, como idéia central de sua proposta, a integração do QFD e o projeto robusto proposto por Taguchi, com o processo de desenvolvimento de produto num ambiente de engenharia simultânea, para a formação de um eficiente ambiente de engenharia, segundo suas próprias palavras. Dentro do modelo sugerido pelo autor, a engenharia simultânea é caracterizada por dois elementos básicos:

- melhorias no processo de desenvolvimento de produto e processo, através de desenvolvimento de atividades paralelas, ênfase para a satisfação do cliente, busca da qualidade, redução de

custos e tempo de desenvolvimento e *benchmarking*;

- maior cooperação entre as diversas áreas através da formação de equipes multidisciplinares, envolvimento ou gestão participativa e relação estratégica com fornecedores.

Desta forma as atividades são executadas em paralelo, na medida do possível, não havendo mais o seqüenciamento de atividades determinado pela rigidez das regras organizacionais. Assim o planejamento da produção pode ter início no mesmo instante em que está sendo discutido o conceito do produto. CLAUSING (1994) propõe que o desenvolvimento de produto seja reagrupado com o desenvolvimento do processo de produção sob a denominação “desenvolvimento”. Os dois grupos que passam a existir são, portanto, o desenvolvimento (do produto e do processo) e as operações de fabricação. Desta maneira, a cooperação tende a ser mais intensa, tornando o processo menos seqüencial. As informações relativas à produção tornam-se parte inerente ao processo de desenvolvimento de produto. Todos os problemas são sanados até a aprovação do lote piloto, antes que a fabricação assuma a responsabilidade de produzir o produto.

Como consequência o engenheiro de produto acaba por tomar conhecimento de características específicas dos sistemas de produção, e o engenheiro de processo passa a compreender questões como atributos funcionais do produto e necessidades do consumidor, fazendo com que especialistas tornem-se mais generalistas, o que é de suma importância para a melhora na comunicação entre as diversas áreas envolvidas.

Como desvantagem da engenharia simultânea, MILLER (1993) afirma que sendo o processo pouco seqüencial, holístico, complexo e simultâneo, o resultado pode ser excepcionalmente bem sucedido como pode ser integralmente descartado, ou seja, o risco é maior. Outra desvantagem apontada por MILLER (1993) é a maior dificuldade de gerenciamento deste tipo de abordagem, além de que resultados concretos são alcançados somente em etapas finais do processo, embora o tempo de desenvolvimento seja menor. Com o objetivo de reduzir riscos, o autor propõe o emprego de simulações e testes intermediários, além de avaliações regulares de desempenho do processo de desenvolvimento e do produto. Para MILLER (1993) a abordagem simultânea para o desenvolvimento do produto pode ser bastante efetiva, principalmente se o produto for um sistema, se necessitar de um processo de manufatura complexo e se o processo e a manufatura modular for o modelo adotado para a produção. A adequação da proposta e a abordagem escolhida dependem muito do porte da empresa, do número de participantes no processo de desenvolvimento e da complexidade do produto. O modelo organizacional a ser implantado deve levar em consideração estes aspectos.

Embora simples no conceito, a engenharia simultânea não é facilmente implantada, exigindo profundas mudanças organizacionais, culturais e nos métodos de trabalho. Segundo EVANS (1993), os fatores de sucesso e as falhas na implantação da engenharia simultânea são muito similares na maioria dos casos relatados. Em seu artigo “Implantação: modos de falha comuns e fatores de sucesso” o autor defende a tese de que mais importante que as ferramentas empregadas e o modelo de engenharia simultânea adotado, é a forma como são implantados. Um bom plano de implantação aumenta os benefícios de qualquer ferramenta ou modelo adotado, sendo que a escolha das ferramentas, com exceção das equipes multifuncionais de desenvolvimento, tem pouca relação com os benefícios alcançados (EVANS, 1993).

Para MADDUX e SOUDER (1993), as barreiras para a implantação da engenharia simultânea podem ser divididas em dois grupos: organizacionais e técnicas. As barreiras organizacionais são aquelas relacionadas com o gerenciamento, política e cultura da empresa, comportamento humano e resistência a mudanças. As barreiras técnicas são relativas à falta de infra-estrutura básica, como sistemas de comunicação e sistemas CAD/CAM, ou a falta de conhecimento e experiência para a implantação da engenharia simultânea.

Outro ponto importante é o estabelecimento do número de integrantes para a equipe. Os autores são unânimes ao recomendar que as equipes multidisciplinares de projeto não devem ser demasiadamente grandes, a fim de evitar problemas como dificuldade de comunicação, dispersão e baixa produtividade. MILLER (1993) observou ainda que equipes com elevado número de integrantes tendem a tornar o ambiente menos favorável à criatividade.

Reconhecendo que em produtos mais complexos, a estrutura montada com relação às equipes de desenvolvimento pode assumir grandes proporções, KUSIAK e PARK (1995) desenvolveram uma metodologia para a avaliação quanto à alocação de equipes segundo as tarefas pretendidas e os recursos disponíveis.

MILLER (1993) recomenda ainda que na composição da equipe seja observado a diversidade quanto às características pessoais, quanto à especialidade técnica e quanto às áreas representadas. Desta forma evita-se problemas causados por falta de conhecimento ou informação, ou devido a mudanças causadas por decisões reconsideradas, o que aumenta o tempo para o desenvolvimento. A inexistência ou a pequena ocorrência de problemas com relação a uma determinada área e ciclos de reprojeto, indica que a função foi bem representada dentro da equipe multidisciplinar.

A execução paralela das tarefas somente é possível com um eficiente planejamento e com a adequada alocação de recursos. O planejamento das tarefas deve considerar as entradas

necessárias e as saídas esperadas de cada tarefa, a fim de identificar a inter-relação existente entre elas e permitir a elaboração de cronogramas de atividades em função das interdependências e dos recursos disponíveis. PRASAD *et al.* (1998) propõem como primeiras etapas para a implantação de um projeto dentro de uma filosofia de engenharia simultânea a modelagem do processo e o estabelecimento de métricas de desempenho. O principal objetivo da modelagem do processo é estabelecer um modelo que contenha todas as informações necessárias e que considere os princípios da engenharia simultânea. São informações típicas: árvores de tarefas, árvores de materiais, estilo de gerenciamento, planos e estruturação de equipes.

Os planos ou fluxos de tarefas devem prever não somente datas, como também responsabilidades para cada tarefa e inter-relações. Muitas ferramentas têm surgido para o auxílio desta tarefa como o IFLOW, citado pelos autores, além de outras como o Primavera™, o MS-Project™, o RFFlow™, o TeamFlow™ e vários outros *softwares* orientados para o planejamento e a elaboração de fluxo de tarefas e matrizes de responsabilidade.

O estabelecimento de métricas de desempenho tem importância fundamental. Com o objetivo de evitar retrabalhos e ciclos de reprojeto além de avaliar o andamento das atividades e do próprio projeto do produto, avaliações intermediárias devem ser feitas ao longo do processo.

PRASAD *et al.* (1998) sugerem que resultados intermediários, e não apenas o final, sejam repassados às fases seguintes. Desta forma, alguns trabalhos podem ser adiantados mesmo que a etapa anterior não tenha sido completada. As etapas podem ser decompostas em tarefas, para que estas sejam conduzidas de forma paralela, reduzindo o tempo de desenvolvimento.

A necessidade de tornar o processo de desenvolvimento de produto mais competitivo através de uma maior integração da equipe de desenvolvimento, e ainda o rápido desenvolvimento das novas tecnologias voltadas para a transmissão de informação, tem feito surgir uma série de propostas para a integração de equipes de projeto através de ambientes informatizados dentro de uma filosofia de engenharia simultânea.

A formação de equipes virtuais de projeto pode ser imprescindível em certos casos, considerando o amplo conjunto de especialidades envolvidas, o número de integrantes e a dispersão geográfica da equipe. Neste caso todo o fluxo de informação, (planejamento, comunicação de resultados, dados técnicos, elaboração e transmissão de desenhos, discussões), é compartilhado através de redes de computadores.

Como observou CLAUSING (1994), as tecnologias para troca de informação não substituem o contato direto entre os membros de uma equipe de desenvolvimento sem perda na qualidade da comunicação, devendo servir apenas como um apoio. O avanço destas tecnologias e

a integração mundial sob os vários aspectos, entretanto, tornam o emprego de meios de comunicação para a troca de dados durante o processo de desenvolvimento, em alguns casos, a única opção viável. As novas tecnologias e recursos proporcionados pela Tecnologia da Informação (TI) permitem uma nova orientação para o processo de desenvolvimento de produtos como um processo descentralizado e geograficamente disperso em todo o mundo.

Em suma, conclui-se através do que foi exposto nesta seção, que existem três formas de implantar um ambiente de engenharia simultânea:

- com base na formação de equipes multidisciplinares;
- com base na infra-estrutura informatizada (ênfase em meios de comunicação);
- com base no registro das informações e apoio de sistemas especialistas.

No item seguinte discute-se a aplicação e a adequação dos conceitos de abordagem da engenharia simultânea para o caso específico do processo de desenvolvimento de componentes de plástico injetados, procurando-se identificar qual das três formas de implantação é mais adequada às características do setor.

3.3.2 A Engenharia Simultânea e o Processo de Desenvolvimento de Componentes de Plástico Injetados

MILLER (1993) sustenta que o emprego da engenharia simultânea é mais adequado, com impactos mais imediatos, em organizações caracterizadas por um dos seguintes pontos:

- costumam efetuar freqüentes alterações nos produtos e processos de fabricação;
- ciclos curtos de introdução de novos produtos;
- produtos e operações de manufatura complexos que variam conforme as necessidades do cliente;
- processos de manufatura que requeiram múltiplos grupos de trabalho para um único produto;
- produtos projetados por diferentes grupos de projeto, envolvendo também fornecedores.

Pensando nas características do setor e no processo de desenvolvimento de componentes moldados por injeção, conforme descritos nos Capítulos 1 e 2, observa-se que são características presentes em grande parte das situações de projetos de componentes de plástico injetados, sobretudo em projetos de componentes com maior nível tecnológico.

No caso específico de desenvolvimento de componentes de plástico injetados, uma outra justificativa para adoção dos conceitos da engenharia simultânea é encontrada na característica multidisciplinar intrínseca deste tipo de projeto. Conforme o que foi apresentado no Capítulo 2, as áreas do conhecimento técnico envolvidas são muitas, o que leva, na maioria dos casos, à participação de mais de uma empresa ao longo do ciclo de desenvolvimento, reforçando ainda

mais a necessidade de adoção de técnicas de integração de equipes de projeto para a melhoria da qualidade e redução do tempo de desenvolvimento. O envolvimento de fornecedores já nas primeiras fases de projeto, tem um grande impacto no setor de moldagem por injeção, uma vez que as empresas fornecedoras de matéria-prima cumprem também a função de transferir tecnologia, conforme a caracterização do setor descrita no item 1.1.3.

Dentro de um processo serial de desenvolvimento, muitos erros de projeto e a falta de adequação ao processo de fabricação são detectados somente na manufatura. No caso do desenvolvimento de componentes injetados isto tem uma implicação ainda maior, uma vez que o processo de moldagem por injeção é bastante sensível aos inúmeros parâmetros de fabricação, além do que, neste estágio, o molde já foi confeccionado. Qualquer alteração no produto resultará na necessidade de alteração do molde. O projeto e a fabricação do molde tem uma considerável participação nos custos de desenvolvimento, sendo também, em muitas situações, o “gargalo” do processo de desenvolvimento. A fabricação de um novo molde, ou mesmo alterações no molde existente, implicarão em significativos aumentos no custo e no tempo de desenvolvimento. Estas considerações são uma forte justificativa para a adoção de um processo simultâneo de desenvolvimento no caso de componentes de plástico injetados, por considerar, já na etapa de projeto conceitual, questões referentes ao projeto e fabricação do molde, e ao processo de fabricação. Simulações, análises e verificações quanto à moldagem são feitas ao longo do processo de desenvolvimento, evitando ou reduzindo os ciclos de reprojeção, comum num processo serial.

A natureza segmentada e geograficamente dispersa do setor de componentes de plástico moldados por injeção constitui uma barreira para a adoção da engenharia simultânea como abordagem de projeto. Entretanto, a composição de equipes de projeto não significa necessariamente a presença física dos integrantes num mesmo local. A contribuição interdisciplinar pode ocorrer por intermédio dos meios de comunicação incrementados com novas técnicas e ferramentas tais como a videoconferência, a Internet e o processamento paralelo de dados. O estabelecimento de canais apropriados para a comunicação entre os integrantes da equipe é de importância fundamental para a integração dos conhecimentos relativos ao ciclo de vida do produto. Dwivedi e Sabolewski citados por PERERA (1997), relacionam como condições fundamentais para a comunicação entre os membros da equipe o seguinte:

- 1) um eficiente sistema de troca de informação, com informações atualizadas sobre as necessidades do projeto, incluindo os equipamentos de produção disponíveis, cronogramas e leis regulamentadoras;

- 2) estratégias apropriadas para negociação e resolução de conflitos;
- 3) estratégias para evitar desentendimentos, incluindo mecanismos para comunicar a todos modificações e correspondentes implicações.

Cutkosky citado por PERERA (1997), afirma que a engenharia simultânea com base em equipes multidisciplinares não é adequada para os setores industriais fragmentados e geograficamente dispersos. PERERA (1997) questiona também a adequação de sofisticados meios de comunicação para setores com tais características, e afirma que a uma rede de comunicação tal como é proposta pelo CERC¹ pode servir para grandes organizações, que têm responsabilidade sobre os seus produtos desde a concepção até serviços de pós-venda. Mas, segundo o autor, a fragmentada indústria de componentes moldados por injeção, que envolve fornecedores e sub-contratados, não pode empregar este tipo de meio de comunicação sofisticado e, tampouco, reuniões freqüentes de equipes de projeto. PERERA (1997) pondera, entretanto, que o setor fragmentado e geograficamente disperso precisa de um meio prático e econômico para o emprego da engenharia simultânea, que seja mais apropriado às limitações e comportamento do setor de moldagem por injeção. Para isso propõe a integração de módulos de conhecimento relativos a cada uma das especialidades das organizações envolvidas com o projeto do componente, por exemplo, desenvolvimento do produto, fabricação do molde e injeção do produto. Estes módulos seriam então, integrados através de um sistema especialista único. A transferência de conhecimento para sistemas especialistas não é, entretanto, tarefa fácil. A manutenção da base de conhecimento do sistema por parte do especialista responsável é uma dificuldade reconhecida pelo próprio autor. Adiciona-se a isto, o atual estágio de desenvolvimento de sistemas especialistas para este fim, ainda bastante limitado e com poucos resultados práticos.

Para MAFFIM (1998), o desenvolvimento integrado e paralelo do produto e do processo de fabricação tem maior aplicação no caso da necessidade de desenvolver um novo processo de manufatura. No caso de componentes de plástico injetados, para todo novo produto é necessário a fabricação de um novo molde e o completo ajuste dos parâmetros de processo, e, portanto, são necessárias grandes alterações no processo de fabricação, exigindo uma forte inter-relação entre produto e processo.

A situação presente no setor de componentes de plástico moldados por injeção é, portanto, de intensa necessidade de novas abordagens de projeto para a integração das atividades necessárias para o desenvolvimento e produção do componente, ao mesmo tempo em que o setor possui características que são barreiras à implantação da engenharia simultânea. A abordagem de

¹ CERC - West Virginia University's Concurrent Engineering Research Center

equipes multifuncionais é dificultada pela dispersão geográfica e segmentação do setor, e também devido às limitações de recursos para manter uma equipe de engenheiros e especialistas concentrados em um único projeto. A adoção de uma estrutura informatizada, por sua vez, é considerada inadequada por alguns autores. Já os sistemas especialistas propostos de apoio ao projetista estão numa fase ainda bastante insipiente de desenvolvimento, muitos deles ainda limitados ao meio acadêmico, oferecendo uma série de limitações quanto ao seu uso prático.

Os avanços nos meios de comunicação e na área da Tecnologia da Informação, entretanto, parecem atuarem no sentido de cada vez mais fornecer condições para que projetos sejam conduzidos de forma integrada e paralela, sem a necessidade da reunião física dos participantes do projeto, e sem que para isso tenha-se que fazer uso de sofisticada infra-estrutura. São vários os artigos e estudos de caso (NIDAMARTHI *et al.*, 1999; GAUSEMEIER *et al.*, 1999; THOBEN e WEBER, 1999; GUI *et al.*, 1999; COATES *et al.*, 1999; SCHRAMME e RÜTTINGER, 1999; CAAMAÑO *et al.*; 1999; LENCINA, 1998; Zukin *et al. apud* OGLIARI, 1999), além da introdução de novos *softwares* de desenvolvimento e gerenciamento integrado de projetos (ver tabela 3.3) e tecnologias (Internet/Intranet/Extranet, cabos de fibra ótica, redes de alta velocidade, videoconferência, realidade virtual, prototipagem digital), que apontam neste sentido. A Internet e a videoconferência de mesa, por exemplo, são meios simples e acessíveis para a integração de equipes de projeto dispersas. O surgimento de vários *softwares* destinados ao gerenciamento e distribuição de informações e à integração de equipes de projeto geograficamente dispersas, tem feito surgir algumas novas denominações e siglas para esta nova forma de execução distribuída do trabalho, tais como CVPD (*Collaborative Virtual Product Development*), VE (*Virtual Enterprise*), KMS (*Knowledge Management System*) e CPC (*Collaborative Product Commerce*).

O acesso restrito às novas tecnologias e as limitações de recursos das empresas de pequeno e médio porte, além da pouca disposição para a adoção de novas técnicas de trabalho, são, contudo, barreiras à integração entre estas empresas. Em contrapartida, como pontos favoráveis a este meio de integração e implantação de um ambiente de engenharia simultânea pode-se relacionar:

- a diminuição acelerada nos custos dos equipamentos da chamada Tecnologia da Informação (TI), ao mesmo tempo em que a tecnologia avança, viabilizando a execução dos trabalhos por este meio, com menores perdas na qualidade da comunicação;
- disposição por parte das grandes empresas em colaborar com seus fornecedores, dentre eles empresas fornecedoras de componentes de plástico injetados, no sentido de integrá-los ao seu processo de desenvolvimento;

- tendência de especialização do setor de transformação do plástico através da moldagem por injeção, e a necessidade de certos segmentos em adequar-se às exigências de seus clientes (grandes empresas fabricantes de produtos acabados).

Tabela 3.3 - Softwares de auxílio ao desenvolvimento e gerenciamento integrado de projetos.

SOFTWARES	EMPRESA	COMENTÁRIOS
iMAM	Unigraphics Solutions	Permite o controle das informações de desenvolvimento de produto e produção, integrando fornecedores, parceiros e clientes. Permite a atualização das informações em tempo real. Integra as funções de PDM, CAD, CAE, CAM. É caracterizado como um sistema PDM (Product Data Management).
Instant!TEAMROOM	Lotus Development Corp.	Permite o compartilhamento de arquivos e informações e o acompanhamento do progresso do projeto, além de promover discussões via Internet. É fornecido através de assinatura. Uma vez concluído o projeto, os serviços disponibilizados pelo software pode ser cancelado.
KnowHow!	C-Mold	Inclui centenas de páginas de informações técnicas relacionadas com a seleção de materiais, projeto do componente e do molde, e operação da máquina injetora. Novas informações podem ser adicionadas à base de dados. As informações são distribuídas para a equipe de trabalho através de uma rede intranet. É comercializado como um sistema de gerenciamento de informações.
WINDCHILL	PTC	Permite gerenciar todo o ciclo de vida do produto através da Internet. A comunicação entre designers, engenheiros, fornecedores, distribuidores e consumidores é feita através de um browser padrão, como o Microsoft Internet Explorer ou o Netscape Navigator.
ActiveProject	Framework Technology Corp.	Um browser padrão é utilizado para o acesso de informações relacionadas com o projeto. Permite conferências e revisões de projeto em tempo real.
Pivotal	Centric Software	Integra equipes de projeto para o desenvolvimento de atividades como concepção e simulação. Permite uma interface unificada para a execução de ferramentas tais como sistemas CAD/CAE/CAM, PDM, ERP e de gerenciamento de informações. É compatível com o MS-Office, SAP, Pro/E, Catia, Alias Wavefront e Nastran.
Enovia Portal	Enovia Corp.	Contém ferramentas de manipulação de informações, incluindo simulações em 3D e publicações na Internet. Utiliza mockup digital para facilitar a comunicação. Possui módulos para assistir as principais fases do ciclo de vida de um produto.
OneSpace	CoCreate Software Inc.	Permite que engenheiros e fornecedores colaborem sobre um mesmo modelo CAD em tempo real utilizando a Internet. Todos os participantes podem fazer modificações no modelo, sob a supervisão de um administrador, permitindo que a revisão do projeto seja feita ao mesmo tempo em que o modelo é construído.

Em resumo, conclui-se que as características do segmento de desenvolvimento e produção de componentes de plástico injetados, de forma antagônica, requerem procedimentos de trabalho mais integrados, ao mesmo tempo em que são barreiras para a implantação de um ambiente de engenharia simultânea. Dentre estas barreiras pode-se citar a fragmentação do processo de desenvolvimento entre mais de uma empresa, a diferença cultural e de porte entre as organizações e a multidisciplinaridade intrínseca do processo de desenvolvimento de componentes de plástico injetados.

Quanto às formas de implantação de um ambiente de engenharia simultânea no setor de desenvolvimento e produção de componentes de plástico injetados, pode-se estabelecer, com base no exposto acima e nas características do setor, o seguinte:

implantação da engenharia simultânea com base em equipes presenciais: devido a segmentação do processo de desenvolvimento e produção em empresas distintas, com diferenças culturais e de porte, além da dispersão geográfica que caracteriza o setor e limitações de recursos para manter equipes dedicadas, parece pouco viável;

implantação da engenharia simultânea com base em sistemas especialistas: seria a melhor opção para efetivamente eliminar as barreiras geográficas e culturais entre as organizações. Porém, devido às inúmeras dificuldades presentes nestes sistemas e o atual nível de desenvolvimento em que se encontram, ainda não podem ser vistos como uma ferramenta prática de auxílio ao projetista. Futuros trabalhos e pesquisas, inclusive na base lógica em que operam estes sistemas, podem tornar esta opção viável a longo prazo;

implantação da engenharia simultânea com base na infra-estrutura informatizada (meios para a comunicação e equipes virtuais): embora requeira investimentos e mudanças na cultura de trabalho, parece, hoje, a forma mais viável para a integração das empresas do setor.

3.3.3 Propostas de Abordagem para o Projeto de Componentes de Plástico Injetados sob os Preceitos da Engenharia Simultânea com Base na Formação de Equipes Multidisciplinares

DEFOSSE *et al.* (1997) propõem um procedimento para a execução do ciclo de desenvolvimento de componentes de plástico injetados com base nos princípios da engenharia simultânea, ou seja, na condução dos trabalhos através de equipes multidisciplinares, envolvimento de fornecedores nas primeiras etapas do projeto e simultaneidade das tarefas. O procedimento proposto tem por objetivo reduzir o ciclo de desenvolvimento de componentes de plástico injetados com geometria complexa.

De forma resumida, as etapas e atividades previstas para o ciclo de desenvolvimento de componentes moldados por injeção, segundo a proposta dos autores são as que seguem:

1) Projeto Preliminar do Componente

- entendimento do conceito do componente fornecido pelo cliente;
- discussão em equipe sobre o cronograma, métricas de projeto e características gerais do componente;
- comunicação à equipe responsável pela simulação sobre o projeto e o cronograma;
- modelamento aproximado da geometria da peça;
- envolvimento do fornecedor de matéria-prima;
- estabelecimento dos requisitos funcionais de projeto;
- seleção de alguns materiais candidatos;
- simulação preliminar em sistema CAE;
- seleção do fornecedor do molde;
- envolvimento dos responsáveis pela manufatura dos componentes;
- envio do desenho preliminar e resultado da simulação de moldagem ao fabricante do molde para revisão;
- envolvimento *in loco* do engenheiro responsável pelo projeto do molde;
- revisão de projeto e sugestões de alteração por parte do fornecedor do molde;
- nova simulação da moldagem com as alterações de projeto possivelmente realizadas.

2) Projeto Detalhado do Componente

- detalhamento do desenho do componente;
- simulação da moldagem com a geometria detalhada;
- envio dos desenhos ao fabricante fornecedor do componente para que seja construído o protótipo;
- envio dos desenhos detalhado ao fabricante do molde;

3) Projeto do Molde

- elaboração do projeto preliminar do molde;
- revisão e aprovação do projeto preliminar do molde;
- projeto detalhado do molde.

4) Fabricação do Molde

- usinagem da cavidade e fabricação de algumas partes do molde;
- fabricação de outros detalhes e acabamento do molde;
- montagem do molde;
- *try out* dos moldes.

5) Produção do Componente

- produção do lote piloto
- retrabalhos e aprovação dos componentes.

Numa aplicação do procedimento proposto, os autores seguiram o cronograma mostrado na figura 3.2. A figura representa de maneira qualitativa os paralelismo das atividades realizadas.

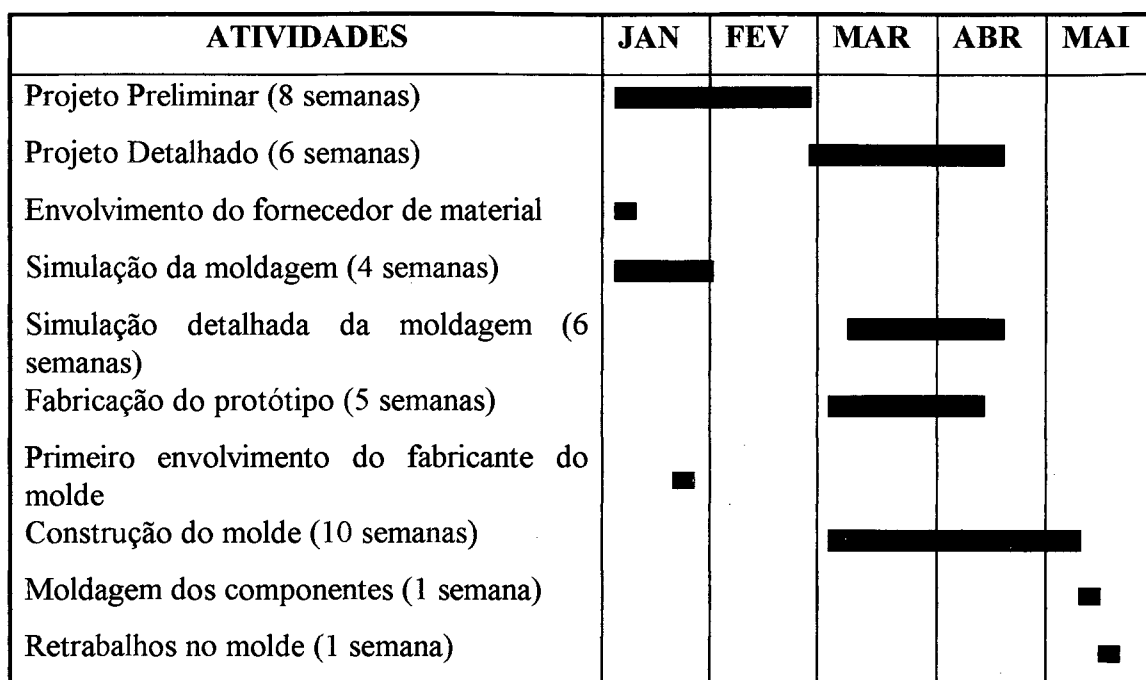


Figura 3.2 - Simultaneidade entre as atividades executadas por Defosse *et al.* (1997).

MALLOY (1994) sugere, como alternativa ao tradicional processo seqüencial de desenvolvimento de produtos, uma abordagem paralela de execução das atividades de desenvolvimento de componentes de plástico injetados, conforme o esquema mostrado na figura 3.3. O autor destaca como principal característica desta abordagem, além da execução paralela das atividades, a formação de equipes de projeto, com o objetivo de melhorar a comunicação entre as diversas áreas envolvidas com o desenvolvimento do produto. As decisões tomadas ao longo do processo de desenvolvimento tem, desta forma, a participação de especialistas de cada área envolvida. O autor, entretanto, não deixa claro como foram estabelecidos os paralelismos das atividades, nem como ocorre a troca de informação entre elas. Apenas pondera, a título de exemplo, que uma vez determinadas as formas e dimensões básicas do componente, o fabricante do molde pode dar início às atividades de compra de peças padronizadas e material para a fabricação do molde. Da mesma forma, o engenheiro de processo pode garantir que a máquina injetora adequada para a produção do componente injetado esteja disponível quando for necessário.

Para o autor, as atividades básicas que compõem o processo de desenvolvimento de produtos de plásticos injetados, e que devem ser executadas dentro de uma filosofia de engenharia simultânea, são as seguintes:

- 1) **Definição das especificações:** as especificações de projeto são definidas segundo as necessidades dos clientes. Nesta fase, devem ser antecipadas questões como carregamento,

condições do ambiente de serviço, requisitos dimensionais, conformidade com normas, e necessidades de mercado. As condições do ambiente de montagem e armazenagem também devem ser consideradas.

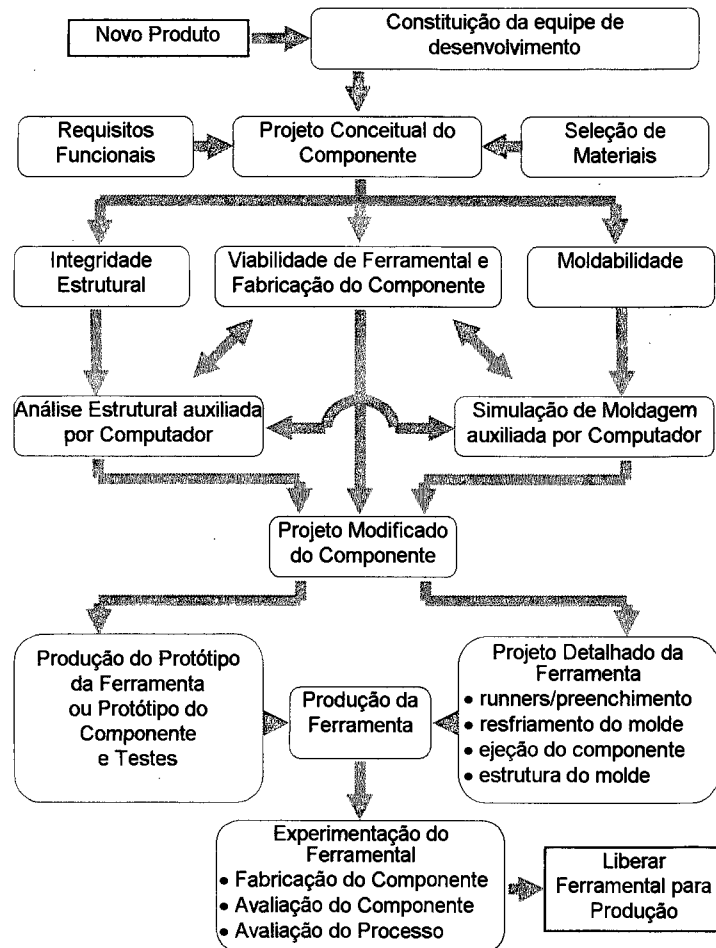


Figura 3.3 - Desenvolvimento simultâneo das atividades na concepção de MALLOY (1994).

2) **Definição dos conceitos:** tipicamente são desenhos 3D renderizados elaborados em sistema CAD. Deve-se determinar quais funções e dimensões são fixas e quais podem ser variadas.

3) **Triagem de materiais:** um conjunto de materiais candidatos é selecionado.

4) **Projeto do componente conforme os materiais selecionados:** diferentes geometrias são concebidas em função das propriedades dos materiais preliminarmente selecionados. Por exemplo, a espessura de parede é determinada em função da rigidez e da viscosidade à temperatura de injeção.

5) **Seleção final do material.**

6) **Adequação do projeto para a manufatura:** seguindo recomendações dos responsáveis pela manufatura, o projeto deve ser alterado, visando a fácil fabricação, dentro dos conceitos do Projeto para Manufatura (DFM). O projetista deve considerar o impacto das etapas do ciclo de

moldagem sobre o componente. As alterações feitas devido às características e limitações do processo de fabricação devem ser avaliadas sob o aspecto funcional da peça, a fim de evitar prejuízos ao desempenho do produto.

7) Prototipagem: tem por objetivo avaliar as características funcionais do componente e a sua facilidade de fabricação.

8) Projeto e fabricação do molde: após a avaliação do protótipo, uma vez tendo sido ele aprovado, o molde é construído. Cabe ressaltar que, segundo o autor, o projeto do molde pode começar muito antes da aprovação do protótipo, o que reduz o tempo de desenvolvimento do componente.

9) Produção.

BACK (1998) propõe uma metodologia de desenvolvimento de produtos injetados com ênfase na redução do tempo de introdução de novos produtos no mercado, através da adoção da abordagem de engenharia simultânea. Com este fim, desdobra o processo de produção de produtos injetados em onze fases, desde o projeto do componente até o processamento após a injeção. De forma resumida, a proposta segue os seguintes passos:

1) Projeto informacional do produto: estudo informativo do problema de projeto, definição do ciclo de vida e atributos do produto, definição das necessidades de projeto, conversão das necessidades em requisitos de usuários, conversão de requisitos de usuário em requisitos de projeto, avaliação de requisitos de usuários e requisitos de projeto, e definição das especificações de projeto.

2) Projeto conceitual do produto: desenvolvimento do modelo ou estrutura funcional do produto, seleção preliminar de uma classe de materiais e os correspondentes processos de fabricação, elaboração da matriz morfológica para o produto, definição de estruturas de princípios de solução alternativas do produto, seleção da melhor concepção do produto, revisão sistemática do projeto conceitual do produto.

3) Projeto preliminar do produto: modelagem geométrica aproximada do produto, simulação preliminar da integridade estrutural do componente, simulação da moldagem, prototipagem, avaliação do custo do processo de produção, revisão e otimização do projeto preliminar.

4) Projeto detalhado do produto: modelagem geométrica detalhada, análise detalhada da integridade estrutural, análise detalhada do processo de injeção, elaboração do protótipo final, avaliação do custo do processo de produção, revisão e execução das modificações, se for necessário, e aprovação do projeto detalhado.

5) Projeto conceitual do molde: determinação das necessidades dos usuários do molde de

injeção, determinação dos requisitos e especificações de projeto do molde, desenvolvimento do modelo ou estrutura funcional do molde, elaboração da matriz morfológica para o molde, geração de estruturas alternativas de princípio de solução do molde, seleção da melhor solução de concepção do molde, revisão sistemática do projeto conceitual do molde.

6) Projeto preliminar do molde: seleção da máquina injetora, modelagem geométrica aproximada do molde, dimensionamento das placas porta-cavidades e da bucha de injeção, projeto preliminar do sistema de refrigeração, projeto preliminar do sistema de extração, revisão do projeto preliminar do molde.

7) Projeto detalhado do molde: modelagem geométrica do molde, análise detalhada da integridade do molde, análise detalhada do sistema de refrigeração, planejamento e desenhos de montagem do molde, revisão e aprovação do projeto detalhado do molde.

8) Fabricação do molde: planejamento do processo de fabricação do molde, planejamento da produção do molde, elaboração dos programas de comando numérico para fabricação do molde, fabricação das peças que compõem o molde, ajustagem, montagem e acabamento do molde.

9) Teste e avaliação de desempenho do molde na máquina injetora: montagem do molde na máquina injetora, teste e avaliação sistemática do funcionamento do molde, revisão do molde.

10) Planejamento / projeto do processo de injeção.

11) Processamentos após a injeção.

A tabela 3.4 relaciona as informações tratadas, os meios sugeridos para a realização das atividades, e a interdependência existente entre cada uma das etapas de projeto do componente e do molde. A figura 3.4 representa de modo esquemático o paralelismo ou a sobreposição das atividades, conforme a proposta do autor.

A seleção dos fornecedores e a formação de equipes multifuncionais e multiorganizacionais antes que o projeto tenha início, é a proposta de EASTMAN e SMITH (1996) para acelerar o ciclo de desenvolvimento de componentes de plástico injetados. A equipe multifuncional formada com representantes das unidades responsáveis pelo projeto do componente, projeto e fabricação do molde e moldagem do componente, pode então discutir sobre os vários aspectos do ciclo de desenvolvimento, e conduzir o projeto do componente e do molde de forma paralela. Desta maneira, é muito mais provável que os requisitos de projeto sejam alcançados sem a necessidade de ciclos de reprojeção. Segundo os autores, algumas empresas já atuam desta maneira, apesar de serem poucas devido ao fato de que é difícil para o setor de engenharia e para o setor de compras das empresas, aceitar a idéia de selecionar os fornecedores

sem ter o projeto definido, sem ter um orçamento, apenas com uma estimativa de custos.

Tabela 3.4 - Informações e meios para a realização das atividades, conforme proposto por BACK (1998).

ETAPAS	DADOS DE ENTRADA	FERRAMENTAS / MÉTODOS	DADOS DE SAÍDA
Projeto informacional do produto	necessidades dos clientes	questionários estruturados QFD banco de dados e listas de requisitos típicos	especificações de projeto
Projeto conceitual do produto	especificações de projeto lista de funções do produto	método da síntese funcional análise de valor e FAST matriz morfológica	solução ou alternativas de solução
Projeto preliminar do produto	forma geométrica aproximada da(s) concepção(ões) selecionada(s)	sistemas CAD e CAE prototipagem rápida	material selecionado geometria preliminar em sistema CAD protótipo
Projeto detalhado do produto	forma geométrica aproximada da concepção selecionada	sistemas CAD e CAE	desenho detalhado do produto
Projeto conceitual do molde	lista de necessidades do projeto do molde	QFD método da síntese funcional análise de valor e FAST matriz morfológica	lista de especificações de projeto tipo do molde número e layout das cavidades tipo de canais de alimentação linhas de separação do molde pontos de atuação do sistema de extração
Projeto preliminar do molde	concepção do molde dimensões do produto		máquina injetora selecionada molde dimensionado disposição do sistema de refrigeração e de extração material do molde
Projeto detalhado do molde	desenho e dimensões preliminares do molde		documentação de fabricação e montagem do molde

As empresas que optam por selecionar os fornecedores de forma antecipada, não têm como critério de seleção apenas custos e prazos de entrega, mas fazem a escolha com base no grau de confiança existente, na reputação e experiência do fornecedor, nos trabalhos em conjunto já realizados e na facilidade de troca de informações (barreiras geográficas, compatibilidade de *softwares*, afinidades culturais e etc.). A proposta dos autores sendo comparada com a seqüência de atividades adotada por grande parte das indústrias do setor, é mostrada na figura 3.5.

Fases do Processo	Simultaneidade de elaboração das fases
Projeto informacional do produto	█
Projeto conceitual do produto	█
Projeto preliminar do produto	█
Projeto detalhado do produto	█
Projeto conceitual do molde	█
Projeto preliminar do molde	█
Projeto detalhado do molde	█
Fabricação do molde	█
Teste e avaliação do molde	█
Planejamento do processo de injeção	█
Processamento após a injeção	█

Figura 3.4 - Simultaneidade das fases conforme proposto por BACK (1998).

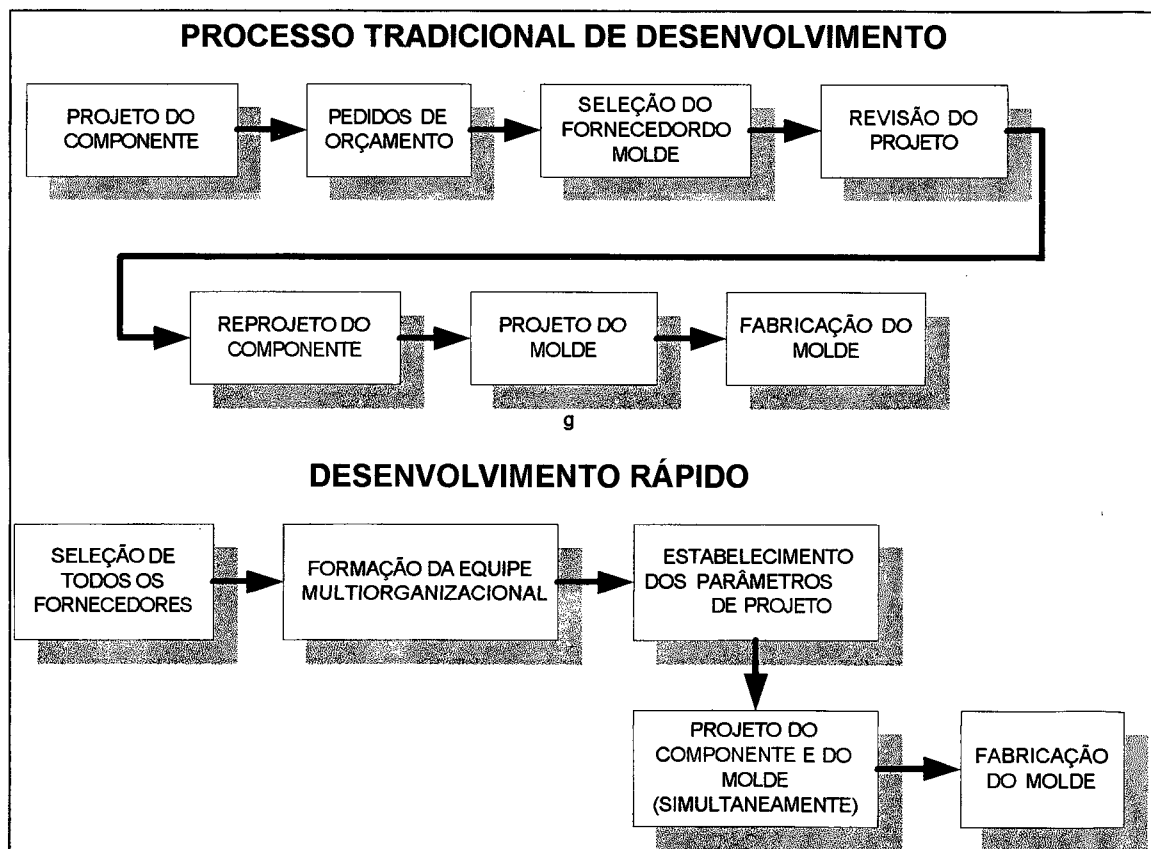


Figura 3.5 - Proposta de abordagem para o processo de desenvolvimento em comparação com o processo tradicional (EASTMAN e SMITH, 1996).

3.3.4 Abordagens para o Projeto de Componentes sob os Preceitos da Engenharia Simultânea com base no Auxílio de Sistemas Especialistas

Citado por OGLIARI (1999), Pearce afirma que a adoção de sistemas especialistas para o domínio do processo de desenvolvimento de componentes de plástico injetados é adequada, uma vez que existe uma grande quantidade de experiências estabelecidas nas empresas e muito conhecimento empírico sendo aplicado na solução de problemas de projeto. Estes conhecimentos podem ser registrados e utilizados para a constituição de bases de dados para sistemas especialistas. Nesta seção são apresentadas algumas propostas e pesquisas dentro desta linha. Está-se interessado não apenas no conhecimento destes sistemas, mas principalmente na forma como são organizados, ou seja, nas sistemáticas de projeto adotadas ou elaboradas, sobre as quais são desenvolvidos os sistemas.

BEITER *et al.* (1995) propõem uma abordagem de projeto de componentes de plástico injetados considerando de forma simultânea durante a etapa de projeto preliminar, a seleção do material e a definição da geometria do componente, e as implicações sobre os custos de produção. Com base em trabalhos publicados sobre seleção do material, moldabilidade de componentes de plástico injetados e análise de tensões, os autores definem uma abordagem de projeto para o caso específico de componentes de plástico injetados, e o implementam através de um programa computacional, cuja principal função é auxiliar na escolha do material e da melhor geometria, considerando aspectos funcionais, de produção e econômicos. A figura 3.6 representa de forma esquemática a abordagem de projeto proposta pelos autores. A filosofia de projeto empregada reside na otimização do processo de escolha do material, do projeto do componente e do planejamento do processo de produção, a fim de satisfazer os requisitos funcionais e de produção. De forma mais específica, considera as implicações de cada material (dentre aqueles pré selecionados com base nos requisitos de projeto) e da espessura de parede especificada, sobre a moldabilidade, o tempo de resfriamento (normalmente a maior parcela do ciclo de injeção) e sobre a rigidez do componente através de correlações matemáticas implementadas computacionalmente. Posteriormente são feitas análises de custo em função do custo do material, da espessura do componente e do tempo do ciclo de injeção.

OGLIARI (1999) descreve uma série de propostas que visam a implantação computacional de sistemáticas de projeto sob o enfoque da engenharia simultânea, através da formulação de sistemas especialistas para o domínio de componentes de plástico injetados. Dentre as propostas descritas, pode-se destacar as formuladas por Perera, Ishii *et al.*, Al-Ashaab e Young, Chin e Wong, e Borg e MacCallum.

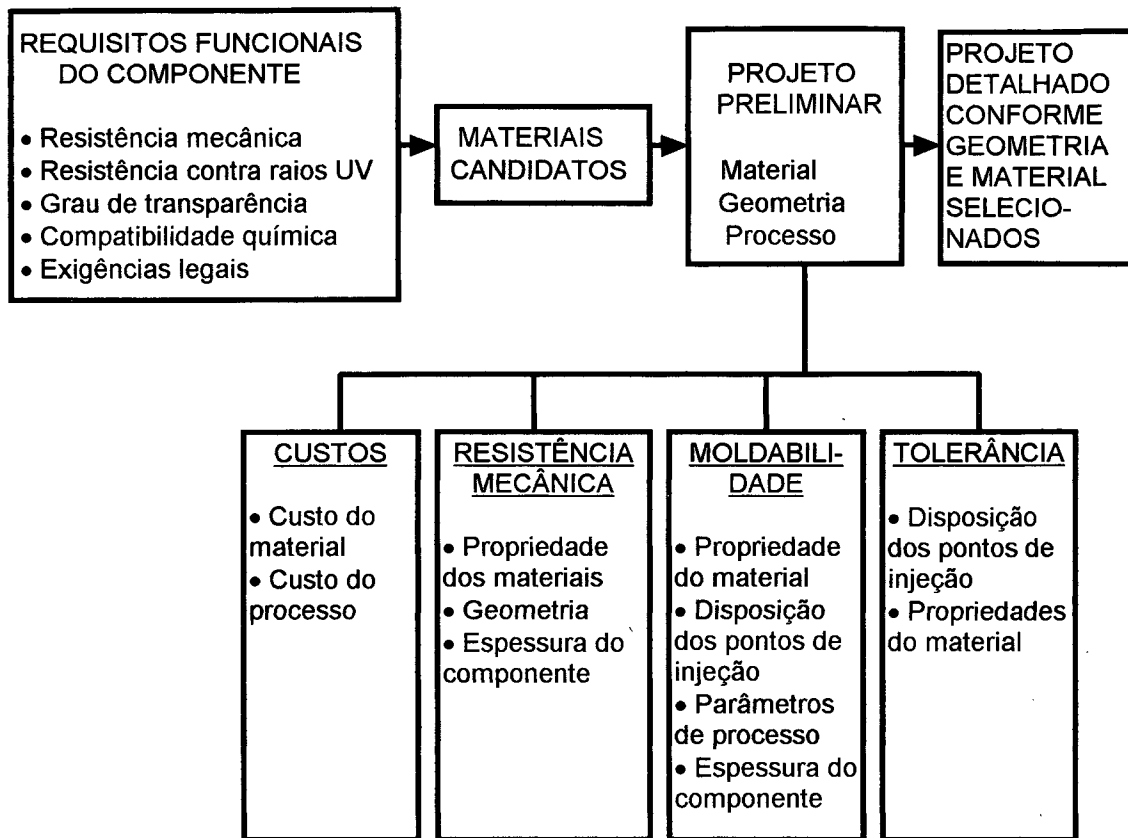


Figura 3.6 - Representação da abordagem de projeto proposta por Beiter *et al* (1995).

PERERA (1997) define três fases para o desenvolvimento do componente injetado: a determinação do conceito, a simulação e a avaliação. Segundo o autor, estas três fases devem ser seguidas obrigatoriamente de forma sequencial, embora a proposta tenha base nos preceitos da engenharia simultânea. O autor deixa claro que a fase conceitual deve ser completamente desenvolvida, satisfazendo todos os requisitos de projeto e sendo suficientemente rica em informação, para que as demais fases tenham início. Propõe, então, um sistema especialista de auxílio ao projeto, de modo que sejam considerados na fase de geração do conceito do produto, os vários aspectos do ciclo de vida do componente. A proposta tem base na melhora da comunicação entre os envolvidos com o projeto, através do emprego do sistema especialista proposto e da prototipagem rápida. A estrutura do ambiente computacional proposto por PERERA (1997) para o auxílio na etapa de projeto conceitual é mostrada na figura 3.7.

ISHII *et al.* (1989) propõem um sistema computacional que aplica princípios da engenharia simultânea através de bases de conhecimento associadas aos especialistas do processo de projeto de produtos de plásticos injetados. Na proposta dos autores, as alternativas de solução formuladas pelo projetista são avaliadas segundo os requisitos do usuário e as restrições do processo, conforme o esquema da figura 3.8.

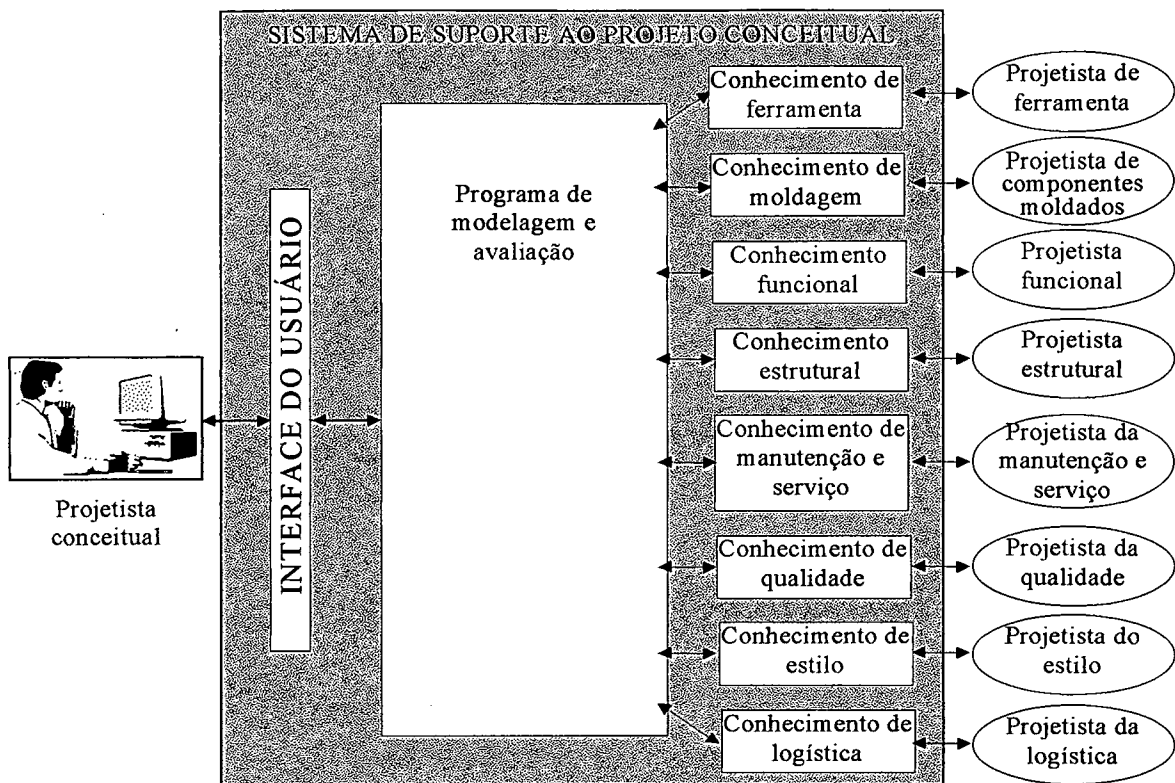


Figura 3.7 - Informações relevantes de apoio ao projeto conceitual implementadas computacionalmente por PERERA (1997).

O sistema implementa a prática da engenharia simultânea sob o enfoque da análise da compatibilidade entre os requisitos do usuário, as restrições do processo e as alternativas de solução. O sistema recebe o nome de CDFIM, sigla em inglês para Projeto com Base na Compatibilidade para a Moldagem por Injeção. A análise da compatibilidade de cada alternativa de projeto é feita de forma simultânea, considerando os requisitos e as restrições de processo. O modelo proposto é implementado através de algoritmos que calculam índices de compatibilidade, indicando a adequação do projeto. As informações referentes ao projeto (entidades geométricas e seus atributos) são comparadas com a base de dados do programa, que armazena bons e maus exemplos, dando origem a regras e recomendações de projeto. Após a avaliação de cada informação referente ao projeto, o programa calcula um índice global da compatibilidade da solução proposta, considerando os vários aspectos do ciclo de vida do produto. Além do índice, determinando a qualidade do projeto, o programa sugere ainda modificações que devem ser feitas.

AL-ASHAAB e YOUNG (1997) propõem um ambiente computacional de apoio ao projetista, que considera de forma simultânea, além dos aspectos funcionais, aspectos relativos à moldabilidade, à fabricação do molde e à seleção da máquina injetora, desde as etapas iniciais de projeto.

Os módulos que compõem o sistema são estruturados em super classes, dentro de uma

abordagem de orientação a objetos. As análises são feitas interativamente em função de *features* pré-definidas (paredes, furos, nervuras, etc.) e com base nos conhecimentos relativos a moldabilidade, fabricação do molde e capacidade da máquina injetora.

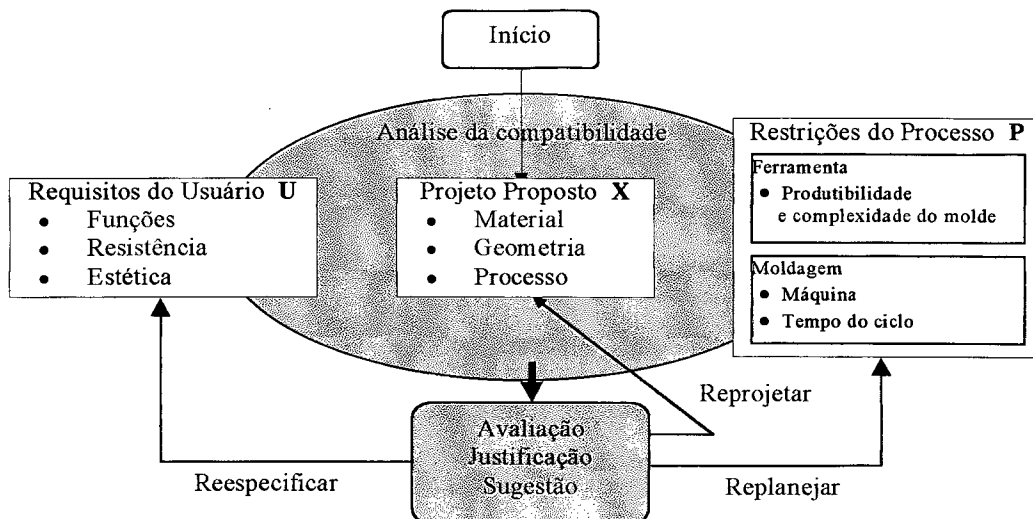


Figura 3.8 - Modelo de projeto estruturado por Ishii et al. (1989).

O sistema é basicamente dividido em dois módulos de informação, um relacionado ao modelo do produto (especificações, geometria, material...) e outro com informações referentes à manufatura (moldabilidade de *features*, elementos do molde e elementos da máquina de injeção). Para o suporte à decisão existem outros dois módulos que interagem com as informações: o DFF (*Design for Function*) e o DFIM (*Design for Injection Molding*). O projetista faz uso do módulo DFF, juntamente com as especificações do produto, para definir as primeiras características tais como geometria, material, tolerâncias, além das características do molde e da injetora. De forma interativa, o módulo DFIM fornece avaliações com relação às decisões que vão sendo tomadas, à moldabilidade da peça, ao projeto do molde e quanto às implicações sobre a injetora. A figura 3.9 ilustra a estrutura proposta com os parâmetros relacionados e o fluxo de troca de informações.

As informações sobre o produto armazenadas no módulo do produto são definidas pelo projetista com base na lista de especificações de projeto e nas funções atribuídas. O módulo de auxílio à tomada de decisão recebe as informações importantes com relação ao produto armazenadas no módulo do produto, e interpreta estes dados com base nas informações extraídas do chamado módulo da manufatura, que agrupa informações relativas à fabricação do molde e à capacidade do processo de moldagem disponível. Após a análise dos dados, o resultado é enviado ao projetista para auxiliar a tomada de decisão com relação à geometria e ao material do

componente e quanto aos aspectos relacionados com a moldagem e com a seleção da máquina injetora.

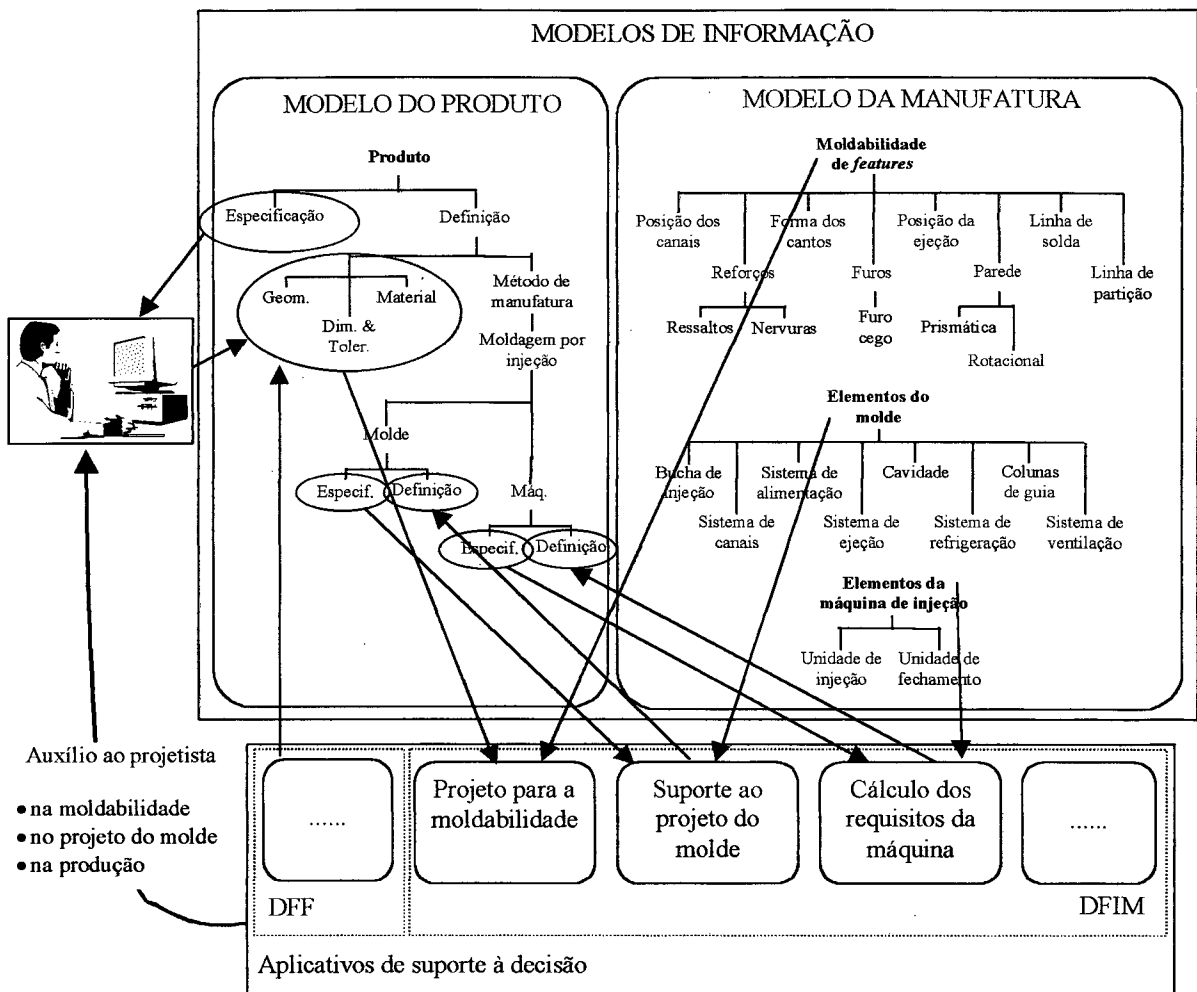


Figura 3.9 - Fluxo de informações e modelo de estruturação para sistema especialista proposto por AL-ASHAAB e YOUNG (1997).

Como o sistema tem base em *features* pré-definidas, está bastante limitado a geometrias simples, o que pode inviabilizar a utilização do sistema para o caso de geometrias mais complexas. A proposta, entretanto, tem mérito ao considerar os vários parâmetros da fabricação do molde e produção do componente já nas primeiras fases de projeto e de modo interativo, o que significa que as decisões não são sugeridas apenas com base em parâmetros relacionados com a fabricação do molde ou com a moldagem do componente de modo isolado. A presença de parâmetros relativos à capacidade da máquina injetora não é comum nos sistemas especialistas apresentados, sendo também um aspecto positivo da proposta, considerando que as características da máquina injetora disponível pode ser uma forte restrição de projeto.

A proposta de BORG e MacCALLUM (1995) tem base na associação de um sistema

CAD paramétrico a um sistema especialista que executa a avaliação do projeto segundo as *features* do modelo do componente a ser moldado por injeção. O modelo de projeto proposto e implementado pelos autores, tem como atividades iniciais a identificação e a definição das especificações do produto que satisfaçam as necessidades de projeto. Logo após tem início uma segunda fase, denominada pelos autores de fase criativa, e que consiste na geração de conceitos com base nas funções que o produto deve desempenhar. A fase seguinte é denominada fase de transição, onde o projeto funcional do produto é convertido em projeto geométrico, gerando um modelo detalhado segundo as restrições e necessidades das áreas envolvidas. A geometria é obtida com base em critérios do tipo “DFX” (*Design for X*), considerando, para o domínio de produtos de plástico injetados, o projeto para manufatura, projeto para montagem, projeto para mínimo custo e projeto para o meio ambiente. A sistemática segue então, dois caminhos de forma simultânea: a simulação do comportamento do componente e o processo do projeto do molde. Os dois caminhos devem convergir para soluções aceitáveis de projeto para o produto e para o molde, soluções estas que serão encaminhadas para a fase de fabricação. A figura 3.10 ilustra o procedimento proposto.

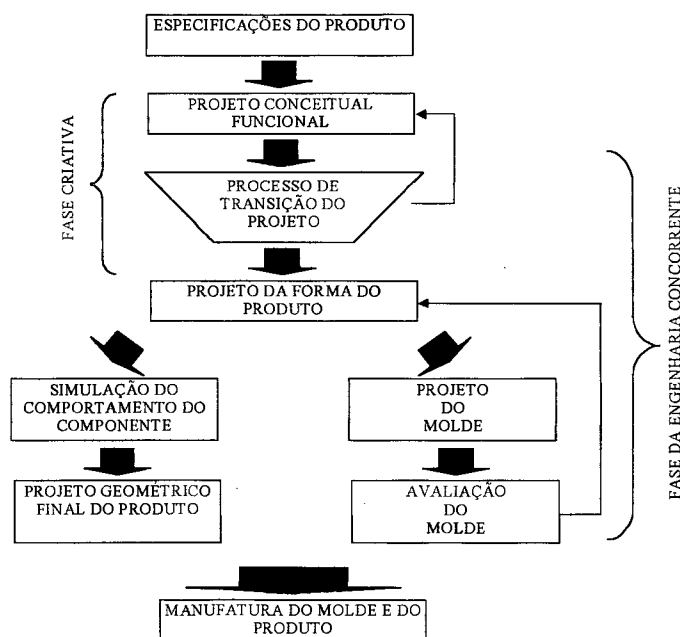


Figura 3.10 - Bases da proposta de BORG e MacCALLUM (1995).

A proposta de CHIN e WONG (1996) avalia o projeto e determina o material mais indicado com base na concepção do componente e nos requisitos de projeto. Em um segundo módulo do sistema, as características do molde são determinadas com base nas decisões tomadas no primeiro módulo. Os planos de fabricação do molde e produção do componente, assim como estimativas de custo e de tempos de produção, são gerados por dois outros módulos, conforme

figura 3.11.

Embora não seja o objetivo deste trabalho a implementação computacional ou a elaboração de um sistema especialista para dar apoio à atividade de desenvolvimento de componentes de plástico injetados, as abordagens analisadas nesta seção são importantes por fornecer conceitos e considerações relevantes, que servem também de base para a proposta de abordagem que se pretende formular.

3.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As metodologias de projeto comentadas no início do capítulo são destinadas a um domínio geral e, portanto, não consideram as especificidades do projeto de componentes e, em especial, do projeto de componentes de plástico injetados. Desta forma, questões como o forte caráter interdisciplinar do processo de desenvolvimento de componentes de plástico injetados, grande dependência entre os parâmetros de projeto e processo, características específicas do ciclo de vida de componentes de plástico moldados por injeção e as necessidades típicas deste domínio de aplicação, não são consideradas pelas metodologias de caráter genérico. Soma-se a isto a abordagem funcional adotada por grande parte das propostas, tratando do objeto de projeto como um sistema que processa energia, material e sinal, o que não é muito fácil de ser identificado para uma entidade única como um componente, seja ele simples ou com maior complexidade.

Por outro lado, as recentes propostas voltadas para o domínio de produtos de plástico injetados, propõem-se a resolver os problemas e a amenizar as dificuldades encontradas especificamente no processo de desenvolvimento de produtos deste domínio, sobretudo pela adoção de uma abordagem integrada de projeto. Contudo, talvez por serem propostas recentes, são pouco detalhadas e privilegiam um determinado aspecto do desenvolvimento de produto, como a geração do conceito ou a seleção do material, por exemplo. Por ser uma etapa importante no desenvolvimento de qualquer produto novo, observa-se que a etapa de geração do conceito é negligenciada ou pouco comentada em algumas das propostas. As abordagens possuem mérito ao considerar requisitos de produção além dos funcionais já na etapa da escolha da melhor solução, mas a maioria das propostas não estimula a geração de novos princípios de solução, diminuindo a possibilidade de se obter um projeto inovador. Embora o emprego da engenharia simultânea como abordagem de projeto seja recomendado pela grande maioria, pouco é dito sobre como pode ser feita a integração de atividades tão variadas e executadas por empresas distintas. Além disso, pode-se identificar em algumas propostas certas lacunas no procedimento sugerido para as atividades.

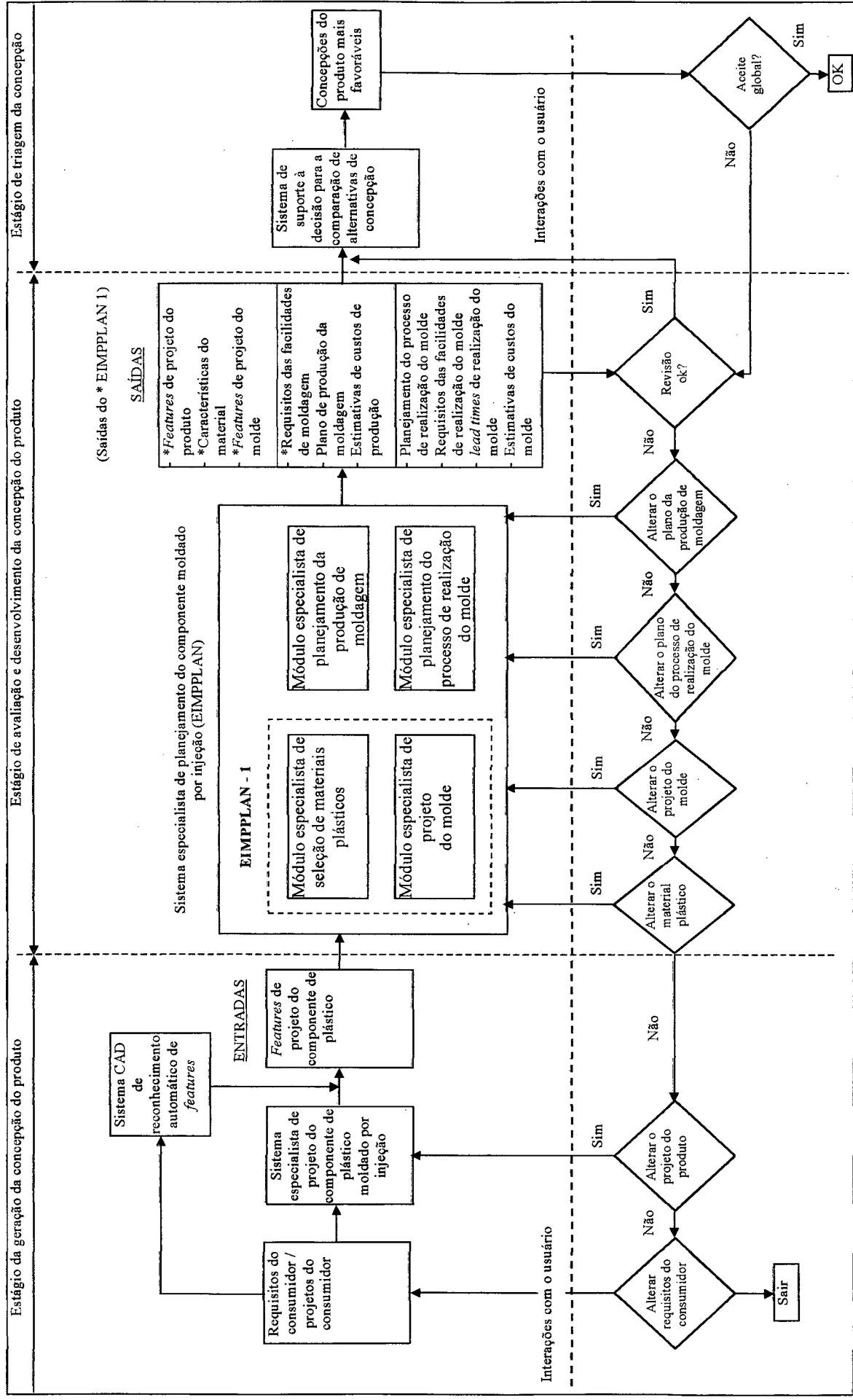


Figura 3.11 - Estrutura proposta por CHIN e WONG (1996) como base para o sistema especialista de apoio ao projeto de componentes de plástico injetados.

As propostas com base no emprego de sistemas especialistas aplicados ao domínio de projeto de componentes de plástico injetados, são também relativamente recentes (PERERA, 1997). A maioria dos sistemas especialistas propostos para o auxílio ao projeto de componentes de plástico injetados está ainda numa fase de estudo e avaliação, não tendo sido encontrado nenhum que efetivamente pode ser adotado num ambiente real de desenvolvimento de produto, suscetível a uma grande variação da natureza e complexidade dos projetos. São, portanto, ainda bastante limitados, principalmente a um conjunto pré determinado de *features* e regras de projeto.

No Capítulo 5 será apresentado um modelo de abordagem para o auxílio no processo de desenvolvimento de componentes de plástico injetados, numa tentativa de cobrir as lacunas deixadas pelas propostas já apresentadas. Muitas das idéias e recomendações discutidas neste capítulo, tanto com relação às propostas genéricas que foram particularizadas para o caso em questão, quanto com relação às propostas específicas para o domínio do desenvolvimento de componentes de plástico injetados, foram incorporadas ao modelo. Outras recomendações foram julgadas impróprias, tendo-se por base as características do setor e do processo de desenvolvimento discutidas respectivamente nos Capítulos 1 e 2. O estudo de caso realizado e apresentado no capítulo que segue, também foi uma importante referência para a avaliação das recomendações que serão propostas.

CAPÍTULO 4

ESTUDO DE CASO: DESENVOLVIMENTO DE COMPONENTES PARA UMA MÁQUINA DESTINADA À AUTOMAÇÃO BANCÁRIA

4.1 OBJETIVOS

Com o objetivo de prover maior sustentação às idéias defendidas ao longo desta dissertação, verificando na prática de projeto as condições que caracterizam o processo de desenvolvimento de componentes de plástico injetados e as dificuldades para a implantação de muitas das propostas defendidas, um estudo de caso foi conduzido. O estudo de caso foi, portanto, um dos meios utilizados para fornecer subsídios para a formulação do modelo de referência proposto como objetivo da presente dissertação. Muitas ações e diretrizes seguidas ao longo do estudo de caso foram incorporados ao modelo proposto, outras foram julgadas como não sendo as mais indicadas. O próprio planejamento e algumas atividades elaboradas, diferem das propostas que serão feitas no Capítulo 5, com a apresentação do modelo de referência para o desenvolvimento de componentes de plástico injetados.

Através do estudo de caso propôs-se atingir os seguintes objetivos:

- execução das atividades relacionadas com o ciclo de desenvolvimento de componentes de plástico injetados através de uma abordagem integrada com base na formação de uma equipe multidisciplinar, avaliando as dificuldades encontradas;
- caracterização do ciclo de desenvolvimento através das atividades e parâmetros de projeto e produção relacionados;
- consideração dos parâmetros de projeto e produção desde as etapas iniciais de projeto;
- condução das atividades de desenvolvimento com o emprego de uma metodologia de projeto;
- aplicação prática de técnicas de projeto e gerenciamento;
- caracterização das relações existentes entre a equipe de projeto e o cliente contratante (como o projeto do componente é inserido dentro do projeto do sistema técnico para o qual se destina);
- identificação das especificidades do projeto de componentes técnicos;
- verificação quanto a viabilidade técnica da execução de tarefas de forma simultânea.

Com estes objetivos, julgou-se necessário a formação de uma equipe multidisciplinar, com

a participação de representantes das várias áreas do conhecimento envolvidas, para a execução do projeto de componentes de plástico injetados com relativa complexidade dentro de uma filosofia de engenharia simultânea. O problema de projeto que motivou a execução do estudo de caso é apresentado na próxima seção. Críticas a alguns aspectos do estudo de caso também são feitas ao longo deste capítulo.

4.2 APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA DE PROJETO

O problema de projeto que serviu como estudo de caso, consistiu no desenvolvimento de quatro componentes destinados a atuarem como guias para as cédulas que circulam no interior de uma máquina destinada à automação de serviços bancários (sistema técnico).

O desenvolvimento da máquina foi conduzido por uma instituição, que propôs o projeto dos componentes de plástico. Visando atender aos objetivos determinados na seção 4.1, uma equipe multidisciplinar de projeto foi formada para conduzir os trabalhos de desenvolvimento dos componentes. A equipe de projeto multidisciplinar foi composta por professores, pós-graduandos e graduandos ligados ao Núcleo de Desenvolvimento de Processos e Produtos de Alta Tecnologia (PAT) do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina. A equipe posicionou-se como fornecedora da instituição responsável pelo desenvolvimento da máquina destinada à automação bancária. Teve-se, portanto, a situação freqüentemente verificada na prática, onde o cliente contratante (normalmente uma empresa produtora de bens de consumo final) solicita ao fornecedor o desenvolvimento de um determinado componente a ser montado no sistema técnico global desenvolvido.

Os componentes deveriam ser compatíveis com o sistema de tracionamento das cédulas já concebido para a máquina e com a estrutura do módulo validador de cédulas (subsistemas pertencentes ao sistema técnico global), implicando em uma série de restrições impostas ao projeto dos componentes.

O estudo de caso foi considerado adequado para os propósitos desta dissertação pelos seguintes fatores:

- os objetos de projeto eram componentes de plástico injetados com relativa complexidade, possuindo exigências com relação à qualidade e devendo ser montados em um sistema técnico complexo, o que impõe uma série de restrições ao projeto;
- a equipe de desenvolvimento dos componentes não foi a mesma que desenvolveu o sistema técnico, situação comum na prática;
- havia, ao menos inicialmente, a necessidade de que o desenvolvimento dos componentes fosse

concluído em um curto espaço de tempo;

- a complexidade dos componentes, a inovação pretendida (projeto por inovação) e o nível de qualidade exigida, requereram o emprego de metodologias e técnicas de projeto mais elaboradas;
- a multidisciplinaridade da equipe de desenvolvimento formada, representando as fases do ciclo de desenvolvimento de componentes de plástico injetados, implicou em diferenças nos conhecimentos, pontos de vista e mesmo no vocabulário técnico utilizado, constituindo barreiras à integração.

Dentro deste cenário, as principais atividades executadas passam a ser descritas na continuidade do texto desde capítulo.

4.3 PLANEJAMENTO DO PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO E METODOLOGIA DE PROJETO EMPREGADA

O planejamento do processo de desenvolvimento dos componentes foi iniciado em outubro de 1999. Teve como base o guia publicado pelo Project Management Institute (PMI Standards Committee, 1996), para os aspectos gerenciais, e as metodologias clássicas para o desenvolvimento de sistemas técnicos, que foram adaptadas para o caso de projeto em questão. Adicionalmente, foram adotados muitos dos preceitos da engenharia simultânea, como a condução das atividades através de uma equipe multidisciplinar de desenvolvimento desde as etapas iniciais de projeto, e a execução em paralelo das atividades. A metodologia de projeto adotada torna-se-á mais clara a partir da seção 4.4, com as observações e análises feitas para a sistemática e para as técnicas de projeto empregadas.

Como resultado da atividade de planejamento do processo de desenvolvimento, obteve-se o plano de projeto. O plano de projeto consistiu na determinação do conjunto de tarefas previstas, ferramentas de projeto que devem ser utilizadas, saídas desejadas em cada tarefa, recursos necessários e cronograma com a determinação dos paralelismos entre as atividades, e os principais “marcos de projeto” (*milestones*) com as datas estimadas para obtê-los. Como objetivos pretendidos com a elaboração do plano de projeto pode-se relacionar: orientar a execução do processo de desenvolvimento, deixar claro o seu conteúdo aos integrantes da equipe de desenvolvimento e servir de parâmetro de controle para o andamento das atividades.

Desta forma, seguindo a estrutura utilizada pelo guia publicado pelo Project Management Institute (PMI Standards Committee, 1996), o plano de projeto foi elaborado com base nas atividades previstas, entradas necessárias e saídas desejáveis. As atividades foram determinadas

tendo por referência outros estudos e numa adaptação das metodologias de projeto disponíveis. De modo a facilitar o planejamento, o gerenciamento das informações e o controle do projeto, as atividades do projeto dos componentes foram agrupadas em quatro etapas: projeto informacional, projeto conceitual, projeto preliminar e projeto detalhado.

Os principais elementos constituintes do plano de projeto são os seguintes:

- **etapa:** denominação da etapa do ciclo de desenvolvimento a que pertencem as atividades;
- **entradas:** resultados necessários para que uma determinada atividade tenha início;
- **saídas:** resultados esperados no momento em que a atividade é concluída;
- **meios/recursos:** recursos necessários ou meios através dos quais serão executadas as atividades;
- **tempo:** estimativa do tempo necessário para a execução das atividades;
- **cronograma:** determinação das datas de início e fim para cada uma das atividades, bem como o estabelecimento do seqüenciamento ou dos paralelismos entre as atividades.

O Apêndice 3 reproduz o plano de projeto elaborado, relacionando o conjunto das atividades inicialmente previstas para o projeto dos componentes, entradas e saídas para cada uma das atividades, ferramentas, estimativas de tempo e cronograma de projeto.

O plano de projeto serviu de base para a elaboração do cronograma. O seqüenciamento e os paralelismos entre as atividades foram determinados através das dependências observadas entre elas, ao se comparar os fluxos de informações de saída e entrada para cada uma das atividades. De posse da relação de atividades, dependências existentes entre elas e estimativas de tempo, pôde-se elaborar um gráfico de Gantt para a visualização gráfica do plano de projeto e sua dependência com o tempo. Utilizou-se para isso o *software* MS Project, que oferece ainda recursos de apoio a atividades gerenciais, como o controle do andamento das atividades. O Apêndice 3 reproduz o gráfico de Gantt obtido, ilustrando os paralelismos entre as atividades. A visualização do caminho crítico é um recurso bastante útil para a determinação daquelas atividades que precisam ser priorizadas, de modo a determinar ações eficazes no sentido da redução do tempo do ciclo de desenvolvimento.

É importante ressaltar mais uma vez, que o planejamento do processo de desenvolvimento foi realizado muito antes da elaboração do modelo apresentado no Capítulo 5. Muitos dos conceitos incorporados ao modelo surgiram da observação e análise dos resultados obtidos com o estudo de caso, que serviu de experimento para a aplicação prática de metodologias e técnicas de projeto. Assim sendo, o modelo apresentado no Capítulo 5 pode ser visto como o aprimoramento de boa parte do conteúdo e dos conceitos previstos no plano de projeto, e que se procurou aplicar

com o estudo de caso. O projeto do molde, por exemplo, foi realizado de forma completamente diferente daquela que havia sido planejada. Isto porque, no momento da elaboração do plano de projeto, o molde foi tratado como um produto industrial a ser produzido em série. Entretanto, durante a execução dos trabalhos, verificou-se não ser esta uma abordagem adequada. Esta é a razão para não se ter incluído no Apêndice 3, o planejamento das atividades de projeto do molde.

Embora alguns autores recomendem que o plano de projeto seja executado pela própria equipe de projeto, como forma de buscar o comprometimento, o plano foi elaborado antes da formação da equipe multidisciplinar. Recomenda-se que a equipe multidisciplinar de desenvolvimento deva ser composta por representantes das várias áreas do conhecimento relacionadas, fato que trouxe algumas dificuldades iniciais e demora para sua formação. Os integrantes da equipe constituída posteriormente, representavam as áreas de desenvolvimento de produtos, seleção de materiais plásticos, simulação e análise da integridade estrutural e da moldagem do componente, estimativas de custo, prototipagem, projeto e fabricação de moldes, e processo de moldagem por injeção.

Nas próximas seções serão descritas as principais atividades de cada uma das etapas previstas no plano de projeto. Não se pretende relatar em detalhes todas as atividades executadas. O objetivo maior é descrever observações e análises feitas ao longo da execução prática das atividades, que subsidiaram muitas das propostas defendidas ao longo desta dissertação.

4.4 FASE DE PROJETO DOS COMPONENTES

4.4.1 Projeto Informacional dos Componentes

Para garantir que o problema e o plano de projeto fossem bem entendidos, a primeira atividade da etapa de projeto informacional foi o que se costuma denominar de lançamento do projeto. A atividade consistiu na reunião de todos os integrantes da equipe multidisciplinar de desenvolvimento e na explanação por parte do coordenador da equipe sobre o problema de projeto, o plano e a metodologia de projeto, os objetivos, as metas e o cronograma. Na reunião foi também definido o período de trabalho da equipe. Com o lançamento do projeto pretendeu-se que a equipe tivesse um conhecimento uniforme das informações e, sobretudo, que todos tivessem um entendimento uniforme do problema de projeto.

Como o cliente contratante não pôde participar do lançamento de projeto, uma nova reunião foi marcada, a fim de buscar as demais informações necessárias para o início do projeto conceitual (dados do sistema técnico, funções dos componentes, necessidades e restrições de

projeto). Um questionário estruturado foi utilizado na reunião com o cliente contratante, como um auxílio para que as principais informações normalmente necessárias para a condução do projeto fossem obtidas. Dados adicionais foram repassadas posteriormente pelo cliente contratante através de *e-mail*. Ao final da reunião obteve-se um conjunto de informações que continham as principais necessidades e restrições de projeto, funções dos componentes, assim como dados do sistema técnico repassados através de desenhos.

Na reunião seguinte da equipe de projeto, as informações foram compiladas numa listagem de necessidades de projeto. Como a linguagem praticada na comunicação das necessidades foi caracterizada por ser já bastante técnica, não foi difícil a tradução das necessidades em requisitos de projeto. Encontrou-se dificuldade, entretanto, na tentativa de traduzir restrições de projeto (tratadas inicialmente como necessidades do cliente contratante) em requisitos de projeto. Verificou-se que restrições de projeto (bastante comuns neste tipo de projeto) não devem ser tratadas como necessidades de projeto, uma vez que são exigências já expressas numa linguagem bastante técnica, muitas vezes quantificadas. Além disso, como restrições de projeto não podem deixar de ser atendidas, não cabe também classificá-las segundo ordem de importância, como pode ser feito com os requisitos obtidos à partir de necessidades nem sempre tão importantes. Desta forma, as informações obtidas junto ao cliente contratante foram classificadas em dois grupos: necessidades de projeto e restrições de projeto. As necessidades de projeto foram traduzidas em requisitos de projeto, sujeitos a uma classificação segundo ordem de importância, enquanto que as restrições de projeto foram assumidas como condições *sine qua non*.

Às necessidades do cliente contratante foram adicionadas as necessidades relacionadas com as demais etapas do ciclo de vida dos componentes, incluindo as necessidades do projeto e fabricação do molde, processo de moldagem, utilização e desativação. Estas necessidades também foram traduzidas em requisitos de projeto. A adoção de uma abordagem integrada de projeto, com a formação de uma equipe multidisciplinar, colaborou na execução desta tarefa, gerando também debates e a uniformização da linguagem técnica praticada pelos integrantes da equipe, o que reflete a representação e consideração das várias áreas do conhecimento relacionadas, desde a etapa inicial do processo de desenvolvimento. A quantidade e o caráter multidisciplinar da lista de requisitos foi um resultado positivo, uma vez que o sucesso da aplicação da engenharia simultânea pode ser avaliado através da quantidade e variedade de requisitos e restrições de projeto considerados desde o início do projeto (EVANS, 1993).

Como resultado destas atividades obteve-se o conjunto das restrições de projeto, o

conjunto das necessidades de projeto agrupadas segundo a etapa do ciclo de vida e uma listagem dos requisitos de projeto obtidos a partir das necessidades.

Com o intuito de melhor entender as relações entre necessidades e requisitos de projeto, além de obter uma classificação para os requisitos segundo sua importância, adotou-se a matriz Casa da Qualidade como técnica de projeto. O preenchimento da matriz foi realizado com o auxílio do programa SACPRO proposto por OGLIARI (1999). A matriz Casa da Qualidade elaborada está reproduzida no Apêndice 4. Como resultado, obteve-se a classificação dos requisitos de projeto segundo ordem de importância, conforme a maior ou menor relação com as necessidades de projeto. Os requisitos de projeto classificados são um importante parâmetro para as decisões tomadas ao longo do processo de desenvolvimento. Observou-se ainda, que a classificação obtida com a consideração do “telhado” da matriz foi bem diferente daquela obtida sem a sua consideração, parecendo ser mais coerente, conforme pode ser visto na matriz apresentada no Apêndice 4. Esta observação é um indício da importância que deve ser dada às relações existentes entre os requisitos de projeto, principalmente no caso de projeto de componentes de plástico injetados, onde a forte inter-relação existente entre os parâmetros de projeto e processo obrigam freqüentes análises de relações de compromisso.

Como aspectos positivos verificados com o emprego da matriz Casa da Qualidade enumera-se:

- 1) melhor entendimento do problema de projeto, através das discussões que inevitavelmente surgem, e uniformização do vocabulário empregado (conhecimentos compartilhados);
- 2) antecipação de problemas e restrições de projeto, antes mesmo que tenha início o projeto conceitual;
- 3) identificação de necessidades com pouca relevância (menor número de relacionamentos) e classificação dos requisitos de projeto por ordem de importância;
- 4) maior entrosamento da equipe de desenvolvimento e enfoque no problema de projeto;
- 5) é um meio para o registro das informações e resultados das discussões, servindo de referência para outros projetos de natureza semelhante.

Entretanto, a falta de conhecimento ou prática no emprego da matriz Casa da Qualidade por parte da grande maioria dos integrantes da equipe, tornou o seu processo de execução bastante lento. Foram necessárias cerca de 14 horas de reunião somente para o preenchimento da matriz de relações e do “telhado”. Conforme observou FONSECA (1996), o emprego da matriz Casa da Qualidade requer um tempo considerável, sendo indicada para problemas mais complexos, cujo entendimento da tarefa de projeto não é tão trivial, como foi considerado o

problema de projeto deste estudo. Com a elaboração da matriz, verificou-se que o problema de projeto ainda não estava bem entendido, e que muitas questões ainda precisavam ser esclarecidas. Este fato também contribuiu para a necessidade de um tempo maior para a sua elaboração, pois o entendimento da tarefa de projeto por parte de todos os integrantes da equipe, que já deveria ter sido alcançado com o lançamento do projeto e com a reunião com o cliente contratante, ainda não havia sido verificado até este momento. Ao menos teve-se a certeza que todos tinham o entendimento do problema de projeto ao ser concluída a matriz, antes de iniciar o projeto conceitual, o que faz da ferramenta também um meio para o entendimento da tarefa de projeto. Para o emprego da matriz Casa da Qualidade são necessárias ações que impliquem em menor tempo para a sua execução, como treinamento, conhecimento dos conceitos de necessidades e requisitos de projeto, regras bem definidas para que seja obtido o consenso nas discussões e o apoio de um *software*, tal como o que foi utilizado. Outras observações e críticas quanto ao emprego da matriz Casa da Qualidade são feitas, de um modo geral, por OGLIARI (1999).

Como foi comentado anteriormente, deve-se considerar na matriz apenas as necessidades de projeto, sem as restrições de projeto. A tentativa de considerar as restrições de projeto consumiu bastante tempo em discussões pouco produtivas.

Em resumo, os seguintes pontos foram observados ao longo da execução da etapa de projeto informacional:

- integrantes da equipe pouco habituados com a atividade e linguagem de projeto, tendem a ficar dispersos ou com dificuldade para participar das atividades, o que consome tempo e dificulta o andamento das tarefas. É necessário a obtenção de uma linguagem comum e um conhecimento mais uniforme entre os integrantes da equipe, requerendo prática e treinamento;
- verificou-se que o problema de projeto não foi bem entendido e que as percepções e expectativas quanto ao projeto não eram as mesmas para os membros da equipe. O problema de projeto somente ficou bem entendido ao fim da etapa de projeto informacional, o que consumiu um tempo extra na execução das atividades desta etapa;
- no momento do preenchimento da matriz de relações da Casa da Qualidade, observou-se um preciosismo exagerado para que fossem encontradas a todo custo, relações entre todas as necessidades. Necessidades e requisitos devem ser relacionados, ainda que com o nível fraco, se houver uma relação direta entre eles. Prática e treinamento são necessários para que distorções nas avaliações feitas ao longo do preenchimento da Casa da Qualidade sejam evitadas;
- algumas necessidades e requisitos não foram facilmente assimilados quanto ao seu significado

por alguns integrantes da equipe. Palavras muito genéricas para expressar necessidades e requisitos como, por exemplo, *feature* (baixo número de *features*), causam dificuldades e dão margem a muitas interpretações.

Os contratempos verificados devido ao mau entendimento do problema de projeto, reforçam ainda mais a recomendação para que a etapa de projeto informacional seja conduzida da melhor forma possível, e para que nenhuma outra ação tenha início antes do perfeito entendimento da tarefa de projeto, sob pena de causar muitos desentendimentos, execução de atividades desnecessárias, falta de foco no problema de projeto e necessidade de ciclos de reprojeção.

Muitas das dificuldades deveram-se também ao tamanho demasiadamente grande da equipe multidisciplinar de projeto (doze integrantes), muito acima das recomendações encontradas na literatura. Segundo alguns autores (CLAUSING, 1994; MILLER, 1993), equipes grandes tornam o processo de desenvolvimento pouco produtivo, causam dispersão, são difíceis de gerenciar, aumentam a dificuldade para se chegar ao consenso e inibem a criatividade. Outro fator que contribuiu para o mau entendimento com relação à tarefa de projeto, foi a dificuldade em reunir toda a equipe em todas as reuniões de projeto.

O projeto informacional foi concluído com a elaboração da tabela de especificações de projeto obtidas a partir dos requisitos de projeto, e com a listagem das principais restrições e recomendações de projeto. Os resultados pouco concretos alcançados com o projeto informacional, embora não menos importantes, causam um certo desinteresse entre aqueles acostumados a iniciar o projeto já a partir da definição da geometria em um sistema CAD.

As informações compiladas ao longo da etapa de projeto informacional são fundamentais para iniciar o projeto conceitual, servindo, portanto, de entrada para esta etapa de projeto dos componentes. As informações foram resumidas no documento denominado “Entrada de Projeto Conceitual”, conforme reproduzido no Apêndice 5.

4.4.2 Projeto Conceitual dos Componentes

Embora o projeto dos componentes estivesse bastante limitado por inúmeras restrições de projeto impostas pelo sistema técnico, principalmente dimensões e pontos de fixação, achou-se que se poderia trabalhar muito nos conceitos para cada uma das funções presentes no componente. Além disso, formas alternativas para os componentes poderiam ser pensadas, de modo a facilitar as condições de moldagem para que fossem obtidas peças livres de empenamento e com boa precisão dimensional (necessidades do cliente contratante).

A função principal dos componentes (conduzir cédulas) foi identificada na etapa de projeto informacional como parte do entendimento do problema de projeto. Funções secundárias, entretanto, não foram analisadas em detalhes naquela etapa de projeto. Desta maneira, a primeira atividade dentro da etapa de projeto conceitual dos componentes foi a identificação de todas as funções que os componentes deveriam desempenhar.

Inicialmente teve-se dificuldade em selecionar o meio a ser utilizado para a identificação das funções (com base nos requisitos de projeto, a partir da análise de componentes semelhantes, com base na explanação do problema de projeto, empatia, ícones de projeto). Após algumas discussões, optou-se por analisar as funções presentes em componentes previamente desenvolvidos pelo cliente contratante para o mesmo fim. Como diretriz para a análise, empregou-se os questionamentos básicos para identificar funções:

- o que deve ser feito? (verbo);
- sobre o que deve ser feito? (substantivo).

Com esta análise identificou-se as seguintes funções para os componentes: guiar a cédula, limitar componente articulado, resistir aos esforços, fixar molas, fixar sensor, direcionar cédula e prover acesso à cédula (articular componente).

Como forma de confirmar as informações identificadas e buscar por funções adicionais, decidiu-se fazer novos questionamentos ao cliente contratante. Evita-se desta forma, a identificação de funções em estágios avançados de projeto, obrigando a execução de ciclos de reprojeto. Através de uma nova reunião com o cliente contratante foram esclarecidos alguns pontos em que a equipe tinha dúvida, e novas funções foram identificadas (prover alívio para o movimento do came e fixar transdutor).

De posse do conjunto completo das funções que os componentes deveriam desempenhar, verificou-se que muitas das funções estavam presentes nos quatro componentes, e que havia um dos componentes que reunia todas as funções (com exceção da função “fixar sensor”). Como estratégia de projeto, optou-se por concentrar inicialmente os trabalhos na concepção deste componente (denominado pela equipe como “componente número um”), extrapolando posteriormente para os demais componentes os princípios de solução encontrados.

Com base na experiência em projetos anteriores, pôde-se já nesta etapa sugerir o polipropileno (PP) como sendo o material indicado para atender aos requisitos de projeto, considerando ainda a necessidade de utilizar o material em estoque. Ou seja, havia também uma restrição de recursos, o que tornou desnecessário o emprego de métodos de seleção de materiais mais elaborados.

Para cada função foram relacionados princípios de solução sugeridos pelos integrantes da equipe, num processo semelhante a um *brainstorming*. Durante esta atividade, muitas analogias foram feitas com *features* presentes em produtos de plástico injetados de um modo geral. Os princípios de solução relacionados para cada função foram representados graficamente através de uma matriz morfológica. Diferente das matrizes morfológicas tipicamente obtidas em um projeto de sistema técnico, reunindo uma série de princípios físicos e conceitos dinâmicos como princípios de solução, a matriz obtida tinha como principal característica, a reunião de variantes geométricas ou formas construtivas básicas para a satisfação das funções. Em outras palavras, a matriz continha um menor nível de abstração, com a representação de formas mais definidas e detalhadas. A tabela 4.1 ilustra alguns princípios de solução sugeridos para as funções principais.

Tabela 4.1 - Princípios de solução sugeridos para as principais funções.

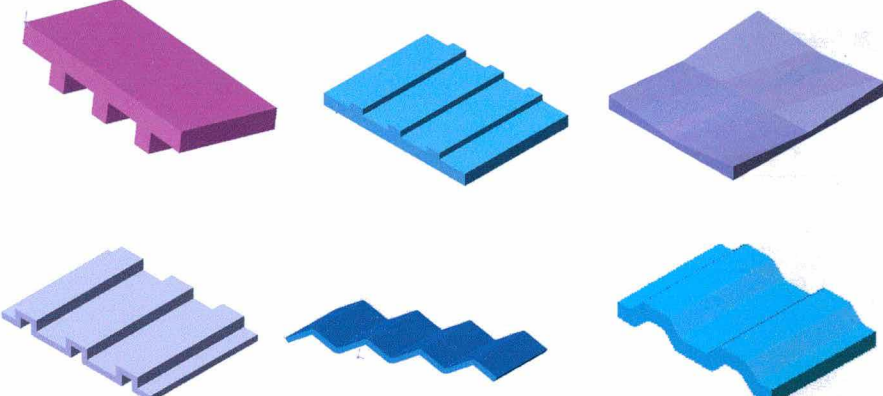
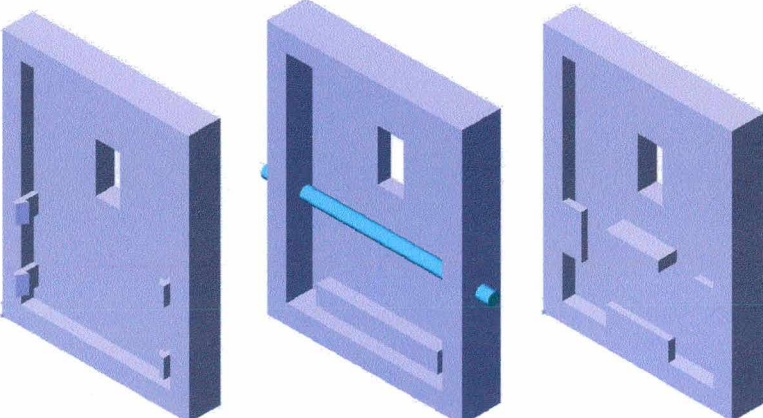
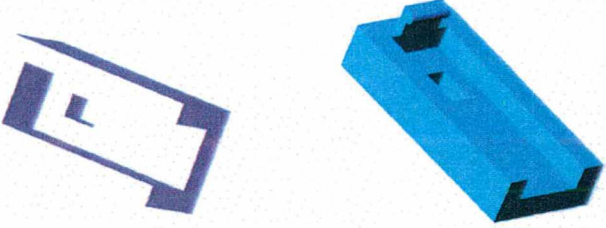
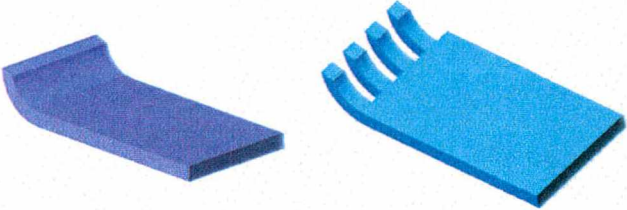
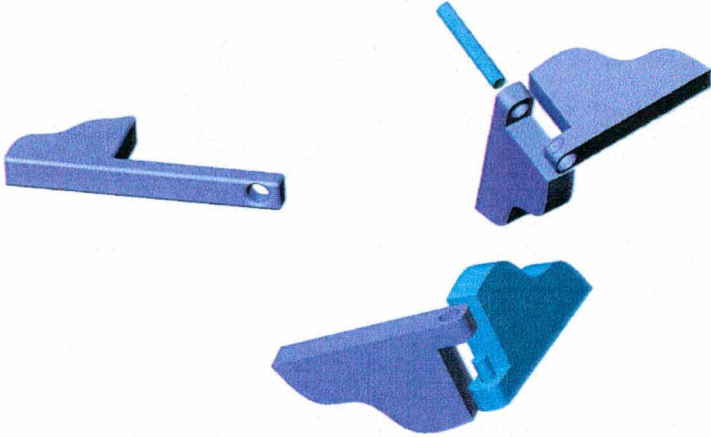
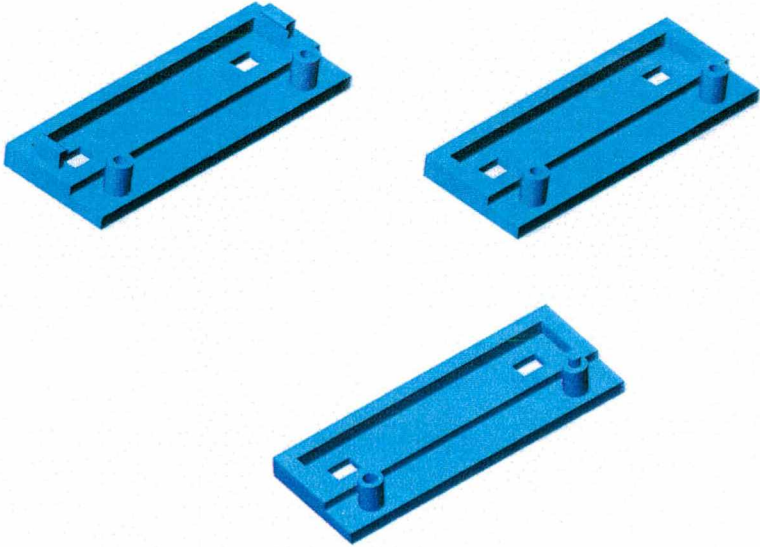
FUNÇÕES	PRINCÍPIOS DE SOLUÇÃO
Resistir aos esforços	
Fixar molas	

Tabela 4.1 - Princípios de solução sugeridos para as principais funções (continuação).

<p>Fixar transdutor</p>	
<p>Direcionar cédula</p>	
<p>Prover acesso à cédula</p>	
<p>Fixar sensor</p>	

Um outro ponto verificado com o conjunto de funções e princípios de solução associados, foi a ausência de dependência existente entre as funções. Ou seja, ao contrário do que ocorre normalmente no projeto de sistemas técnicos (existência de uma cadeia funcional), as funções são freqüentemente independentes entre si no caso de projeto de componentes moldados por injeção. Desta maneira, é desnecessário a combinação de princípios de solução, conforme o método da síntese funcional, sendo que estes podem ser analisados e selecionados de forma independente. Não se pretende estabelecer uma regra. É claro que pode haver dependências entre duas ou mais funções, mas não parece ser este o padrão encontrado em componentes de plástico moldados por injeção. Estas observações vão ao encontro do que foi discutido no item 3.2.3.

Isto posto, os princípios de solução foram analisados individualmente para que fosse feita a seleção dos melhores. Alguns princípios de solução relacionados a funções elementares foram selecionadas por consenso entre os integrantes da equipe. Os princípios de solução relacionados às principais funções foram selecionados com base em três critérios: moldabilidade, aspectos econômicos e funcionalidade. Para servir como parâmetro de seleção, algumas necessidades e requisitos de projeto foram agrupados sob os três critérios, conforme mostra a tabela 4.2. Aos três critérios de seleção foram atribuídos pesos, de acordo com o grau de importância dos requisitos de projeto que agrupam (segundo classificação obtida com a matriz Casa da Qualidade). Através de uma matriz de seleção, foram avaliados cada um dos princípios de solução contra os três critérios. Um dos princípios foi utilizado como referência (aquele que a princípio parecia ser o mais adequado). Os valores definidos para as avaliações foram os seguintes:

- valor 1 para um princípio de solução melhor que a referência;
- valor 0 para um princípio de solução igual a referência; e
- valor -1 para um princípio de solução pior que a referência.

Multiplicando a avaliação de cada um dos princípios pelo peso do critério de seleção correspondente, e somando os três valores parciais obtidos, encontrou-se um valor total para cada princípio de solução. O princípio de solução que obteve o maior score foi identificado como o que melhor atende aos três critérios de seleção, e, por conseguinte, aos requisitos e necessidades de projeto. Em algumas situações, houve dúvida quanto ao julgamento da moldabilidade, ou seja, entre dois princípios de solução, não se sabia qual o melhor no momento da moldagem (principalmente porque ainda não se tinha conhecimento sobre a localização do ponto de injeção). Neste caso optou-se por selecionar aquele que melhor atendia aos outros dois critérios, mantendo-se o princípio de solução preterido como alternativa para o momento em que fosse feita a análise reológica na etapa de projeto preliminar.

Obeve-se assim, para cada uma das funções, um princípio de solução que melhor atende aos requisitos de projeto. Observou-se que, através de uma abordagem de projeto integrada com base numa equipe de desenvolvimento multidisciplinar, os princípios de solução gerados e posteriormente selecionados não estavam voltados apenas à satisfação de aspectos funcionais, mas também à satisfação das necessidades do projeto e fabricação do molde, e do processo de moldagem por injeção. Recomendações de projeto relacionadas com o molde e com o processo de moldagem também foram amplamente discutidas ao longo do projeto conceitual. As necessidades e requisitos de projeto que foram relacionados na matriz Casa da Qualidade também refletem a natureza multidisciplinar da equipe. Como ganho tem-se a menor probabilidade de ocorrência de ciclos de reprojeção, problemas no momento da fabricação do molde e da injeção dos componentes.

Tabela 4.2 - Parâmetros relacionados com os critérios de seleção adotados.

PARÂMETROS RELACIONADOS À MOLDABILIDADE	PARÂMETROS RELACIONADOS COM ASPECTOS ECONÔMICOS	PARÂMETROS RELACIONADOS COM FUNCIONALIDADE
<ul style="list-style-type: none"> • geometria simples • evitar arestas e rebarbas • minimizar o empenamento • fácil moldagem em insertos de estereolitografia • utilizar equipamento existente • insertos conforme as dimensões do equipamento • espessura de parede constante • área projetada 	<ul style="list-style-type: none"> • próximo ao custo atual • utilizar equipamento existente • insertos conforme as dimensões do equipamento • custo do molde • custo do processo 	<ul style="list-style-type: none"> • evitar deflexão • fácil montagem das molas • minimizar o empenamento • evitar arestas e rebarbas na direção do movimento da cédula • acabamento mais liso possível • boa rigidez e resistência mecânica • permitir variação dimensional da cédula • vida útil elevada • suportar forças de atuação dos roletes • fácil acesso no caso de enrosco

Conforme comentado anteriormente, os princípios de solução selecionados para o componente número um, através da matriz de seleção, foram extrapolados para os demais componentes.

Verificou-se ainda, que a concepção de princípios de solução para cada função individualmente, trouxe dificuldades para a visualização do componente como um todo. Ou seja, a representação do conceito não estava clara e, portanto, o projeto preliminar não podia ser iniciado. A representação em forma de croqui do componente número um (figura 4.1), reunindo os princípios de solução selecionados, ajudou bastante, tendo sido o ponto de partida para a modelagem dos componentes em sistema CAD. Com os princípios de solução selecionados e o conceito devidamente representado, pôde-se iniciar o projeto preliminar dos componentes.

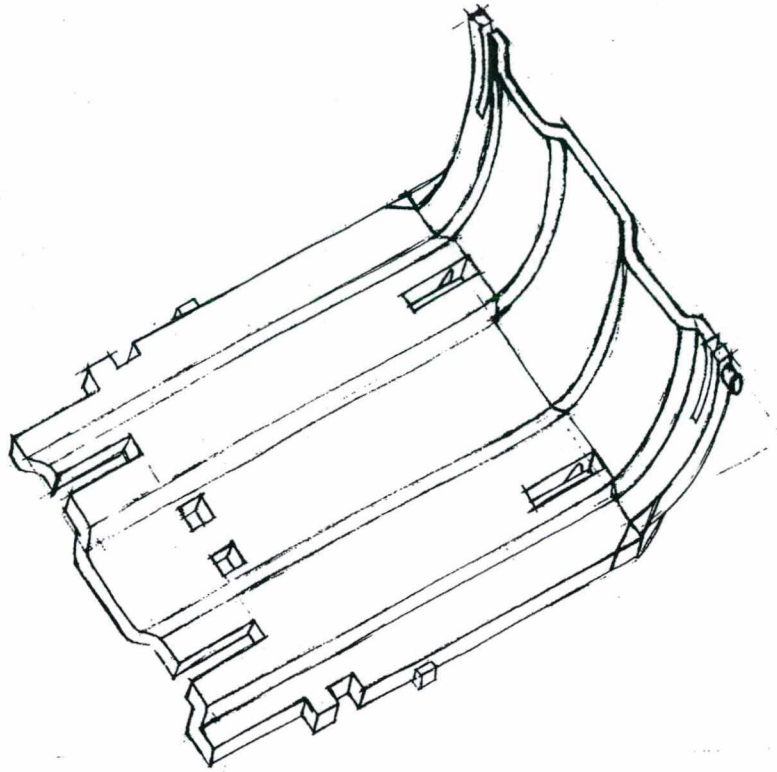


Figura 4.1 - Conceito de um dos componentes (“componente número um”).

4.4.3 Projeto Preliminar e Detalhado dos Componentes

Com os conceitos dos componentes definidos, o projeto teve continuidade com o modelamento dos componentes em sistema CAD, já na etapa de projeto preliminar. Seguindo a estratégia adotada no projeto conceitual, concentrou-se inicialmente nos trabalhos de modelamento do componente número um. Muitas definições com relação à geometria tiveram que ser feitas nesta etapa, uma vez que os conceitos gerados ainda estavam pouco detalhados.

Definiu-se as dimensões principais com base nas restrições de projeto e nos desenhos do sistema técnico fornecidos pelo cliente contratante, que passaram a ser analisados mais detalhadamente. A espessura dos componentes foi determinada inicialmente com base em outros projetos e na espessura típica verificada em componentes de plástico injetados. Os quatro componentes foram modelados, ao mesmo tempo em que, através de reuniões periódicas da equipe de desenvolvimento multidisciplinar, os resultados eram discutidas e oportunidades de melhorias eram propostas, principalmente com relação a alterações na geometria visando facilitar o processo de moldagem.

Paralelamente definiu-se também, um novo plano para a etapa de projeto e fabricação do molde, e discutiu-se como e quando as atividades previstas poderiam ser iniciadas. No início dos trabalhos já havia sido definido, como estratégia de projeto, que os moldes não seriam fabricados pelo processo tradicional de usinagem, mas sim através do processo de *rapid tooling*, o que obrigou a consideração de aspectos bastante específicos relacionados a esta tecnologia. Adotou-se um procedimento padrão já utilizado no Centro de Informações em Manufatura, Integrada por Computador, para Componentes de Plástico Injetado (CIMJECT) do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina.

Com a finalização da primeira aproximação para o desenho preliminar das peças, pôde-se dar início às atividades de análise. O polipropileno como material para injetar os componentes já havia sido sugerido na etapa de projeto conceitual, devido às restrições de recursos e material em estoque.

Inicialmente executou-se a análise da integridade física com a utilização do sistema CAE ANSYS™. Os componentes não são elementos estruturais, devendo apenas suportar a força exercida por elementos de mola acoplados para pressionar os roletes que tracionam as cédulas que circulam sobre os componentes. Entretanto, o requisito “mínima deformação” foi considerado bastante importante (décimo primeiro na classificação da matriz Casa da Qualidade). Isto devido à confiabilidade que o equipamento deveria ter. Deformação nos componentes implicaria em distorções nos roletes de tracionamento, gerando problemas funcionais (enrosco das cédulas que circulam no interior da máquina). Os componentes deveriam, portanto, sofrer deformação mínima devido à força de atuação das molas. A força de atuação das molas foi medida e o resultado encontrado foi incorporado como carregamento ao modelo de análise. Após algumas análises, verificou-se que a espessura de 2,5 mm inicialmente estipulada, era suficiente para resistir aos esforços impostos pelas molas, obtendo-se uma deformação mínima.

Em seguida partiu-se para a simulação e análise reológica com o auxílio do *software* Moldflow™. Restrições impostas pela máquina injetora disponível obrigaram a injeção dos componentes em moldes de cavidade única. Além disso, o pequeno tamanho do lote de produção não justificaria a adoção de moldes com mais de uma cavidade. Assim, utilizou-se a própria geometria do componente para gerar a malha de elementos finitos e conduzir as simulações. Os parâmetros de processo foram sendo variados até obter-se um conjunto de valores otimizado.

Alguns resultados obtidos motivaram pequenas alterações na geometria dos componentes, principalmente para reduzir tensões localizadas e melhorar o fluxo da massa fundida no interior da cavidade do molde. Como as modificações eram pequenas, achou-se que não eram necessárias

novas análises.

Com a geometria dos componentes definida, pôde-se dar início à confecção dos protótipos. Devido às exigências funcionais (mínimo índice de falhas), é importante a confecção de protótipos para testar o comportamento funcional dos componentes instalados no sistema técnico. Optou-se por utilizar a estereolitografia como técnica para a obtenção dos protótipos, resultando em componentes com geometria praticamente igual ao modelo elaborado em sistema CAD. Os protótipos foram instalados na máquina e alguns testes funcionais simulando situações reais foram conduzidos. Observou-se também outras questões como a facilidade de montagem. Como principais resultados dos testes, obteve-se o seguinte:

- alguns pontos dos componentes precisavam ser reforçados;
- o teste de resistência não pôde ser feito, considerando que o material usado na confecção do protótipo difere do material que seria utilizado na fabricação dos componentes;
- a função “direcionar a cédula” não foi completamente satisfeita, visto que algumas vezes a cédula não passou através da curva que direciona o seu curso. Constatou-se que uma possível razão para a falha seria a depressão existente no centro da peça, permitindo a flexão da cédula e o conseqüente enrosco nas arestas do componente;
- com exceção da função “direcionar cédula” que não foi completamente atendida devido aos problemas mencionados anteriormente, e da função “resistir aos esforços”, que não pode ser avaliada com o protótipo, as demais funções foram atendidas.

Visando atender à função “direcionar a cédula”, que não foi completamente satisfeita, foi alterada a geometria da região onde a cédula é redirecionada, de modo a evitar a flexão da cédula nesta região. O desenho preliminar foi, então, modificado em função dos resultados obtidos com o teste funcional. Acreditando que as pequenas modificações realizadas resolveriam o problema, decidiu-se por não fabricar novos protótipos. Desta forma, a geometria preliminar estava fixada.

Com o desenho preliminar definido, a seqüência típica de atividades determina o detalhamento do desenho e a adição de informações para a produção (documentos de produção), ou seja, ocorre a etapa de projeto detalhado. Entretanto, três motivos colaboraram para que a equipe considerasse esta etapa já praticamente concluída:

- os modelos tridimensionais elaborados na etapa de projeto preliminar já estavam suficientemente detalhados;
- para a fabricação dos moldes por *rapid tooling* são necessários apenas os desenhos tridimensionais dos componentes, servindo de ponto de partida para o projeto das cavidades

dos moldes;

- as etapas de projeto e fabricação do molde, e de planejamento do processo de produção eram de responsabilidade da própria equipe de desenvolvimento. Ou seja, muitas informações foram obtidas, ainda no projeto dos componentes, pelos próprios integrantes da equipe que estavam responsáveis por estas etapas. Além disso, dentro de uma estrutura organizacional informal, não há a necessidade da elaboração de documentos mais formais, como os que normalmente são elaborados na etapa de projeto detalhado.

Assim sendo, apenas alguns pequenos ajustes no desenho preliminar foram realizados. Os desenhos dos quatro componentes, com suas características geométricas finais, são ilustrados nas figuras 4.2 a 4.9.

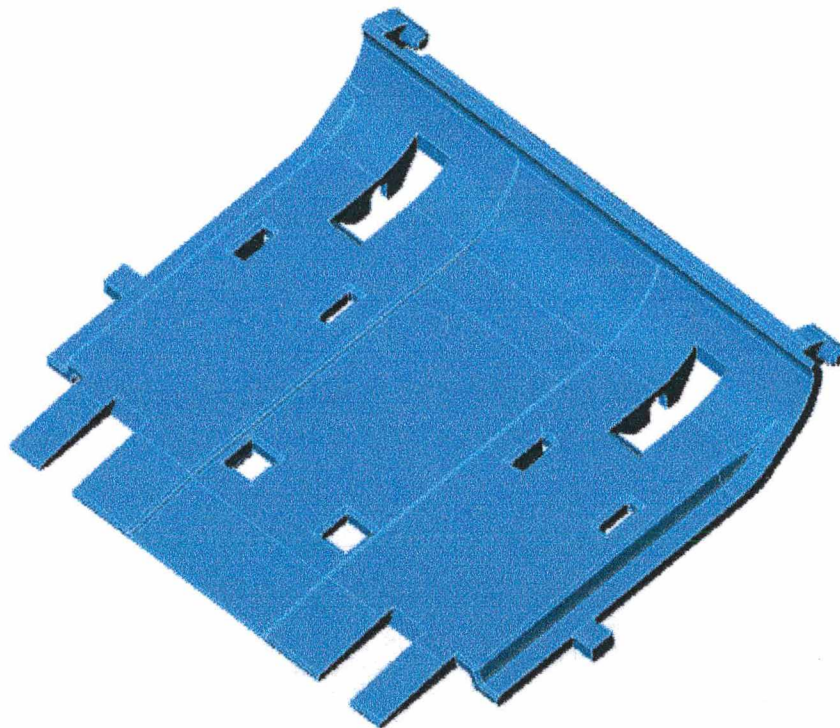


Figura 4.2 - Componente número um do conjunto de guias para a máquina destinada à automação bancária.

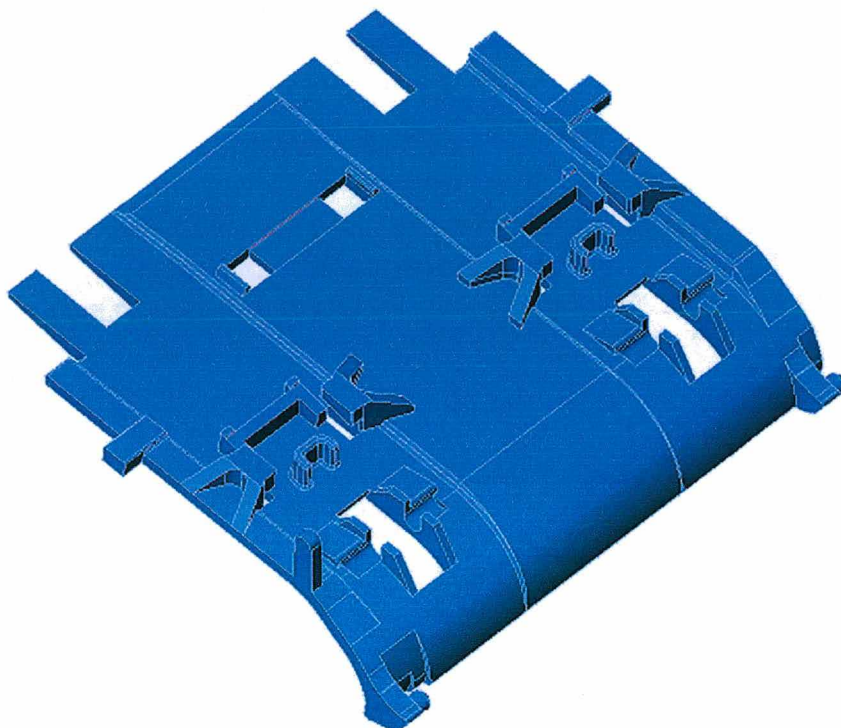


Figura 4.3 - Componente número um do conjunto de guias para a máquina destinada à automação bancária (verso).

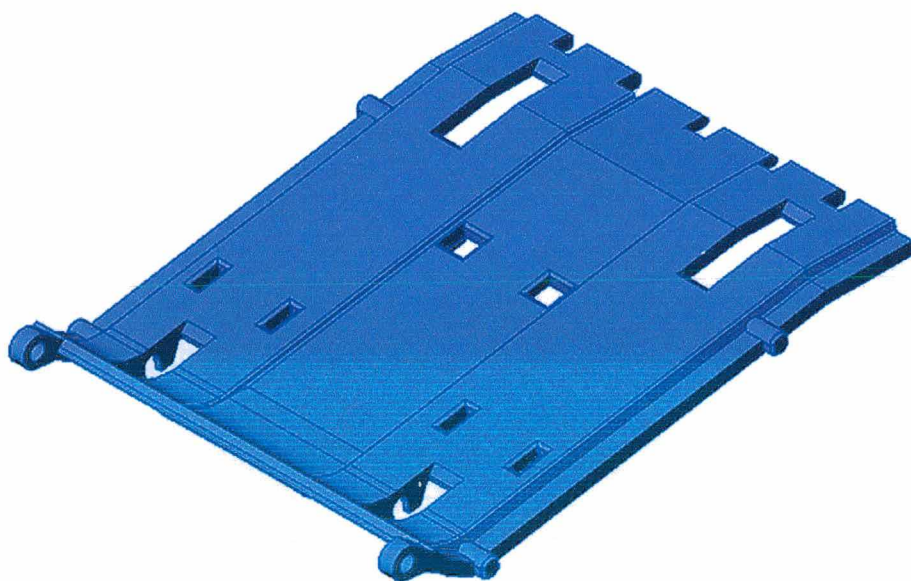


Figura 4.4 - Componente número dois do conjunto de guias para a máquina destinada à automação bancária.

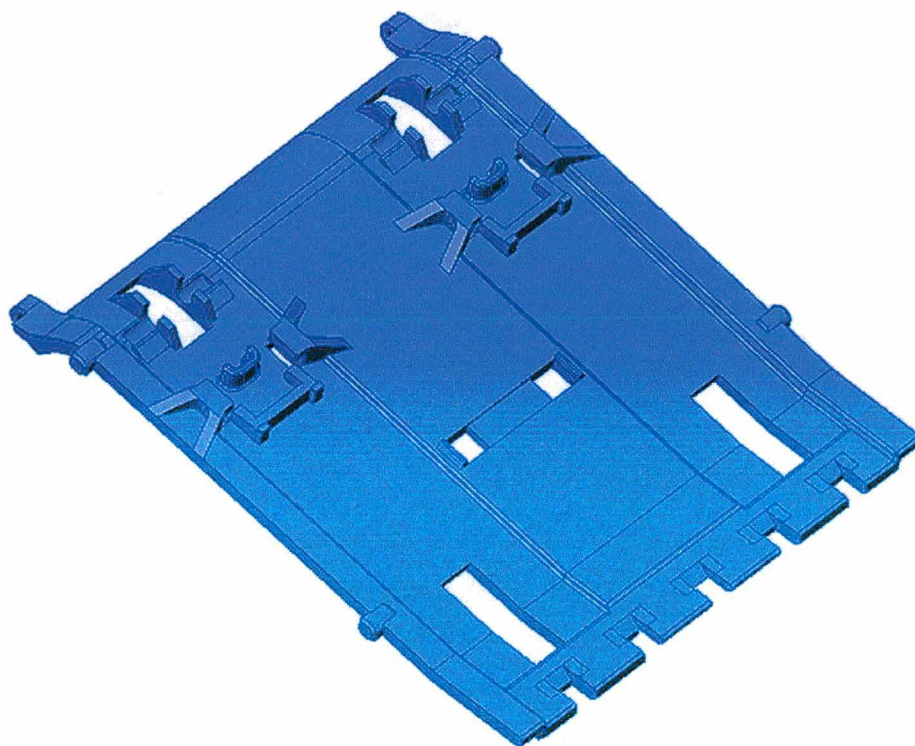


Figura 4.5 - Componente número dois do conjunto de guias para a máquina destinada à automação bancária (verso).



Figura 4.6 - Componente número três do conjunto de guias para a máquina destinada à automação bancária.



Figura 4.7 - Componente número três do conjunto de guias para a máquina destinada à automação bancária (verso).

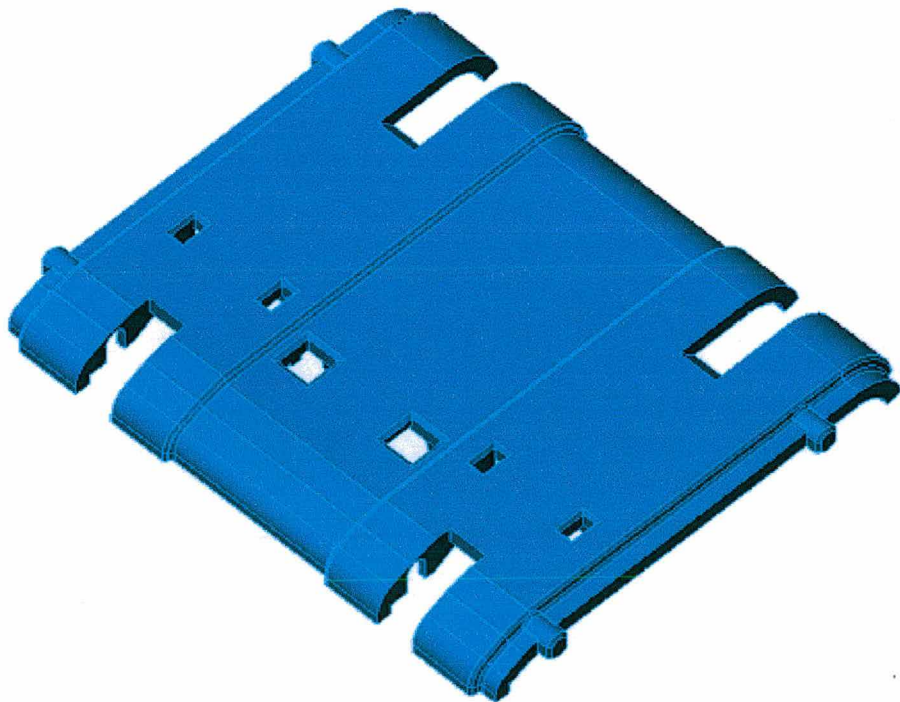


Figura 4.8 - Componente número quatro do conjunto de guias para a máquina destinada à automação bancária.

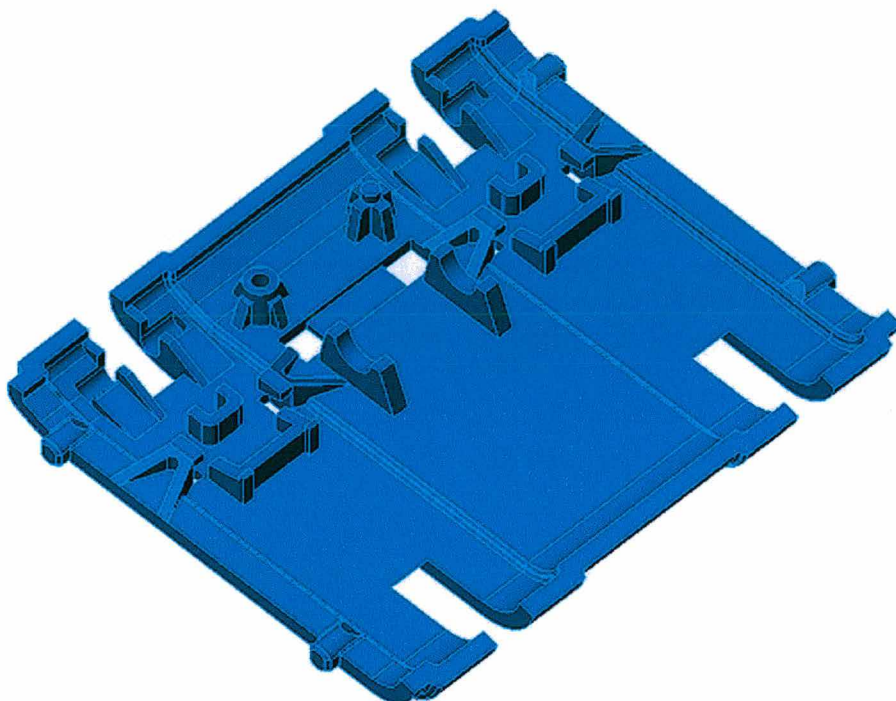


Figura 4.9 - Componente número quatro do conjunto de guias para a máquina destinada à automação bancária (verso).

4.5 FASE DE PROJETO E FABRICAÇÃO DOS MOLDES

Com a condução do processo de desenvolvimento através de uma equipe de projeto multidisciplinar, verificou-se que o projeto do molde já começou a ser discutido entre os integrantes da equipe, desde a etapa de projeto informacional dos componentes, com a atividade de levantamento das necessidades e restrições de projeto.

Conforme comentando anteriormente, optou-se pela adoção do *rapid tooling* como processo para a fabricação das cavidades para o molde, devido também às necessidades de pesquisas e aplicação desta tecnologia. Isto implicou numa série de considerações de projeto específicas relacionadas com o *rapid tooling*. Inclusive as formas geométricas dos componentes foram concebidas pensando-se nas facilidades e limitações desta tecnologia, distinguindo-se daquelas que seriam consideradas no caso da fabricação das cavidades através do processo de usinagem. As cavidades foram então confeccionadas em insertos obtidos por estereolitografia, sendo que o porta-molde foi encomendado a terceiros.

Ao longo do projeto conceitual dos componentes, também discutiu-se muitos aspectos relacionados com o projeto do molde, principalmente devido às limitações impostas pela máquina injetora, o que trouxe restrições com relação às dimensões principais do molde e, por

consequente, dos componentes. Ainda no projeto conceitual dos componentes, foram feitas análises preliminares quanto às dimensões disponíveis de itens padrões para moldes (itens de catálogo), assim como com relação às limitações da máquina injetora, como a força de fechamento necessária.

Entretanto, como já se esperava, foi no momento da análise reológica que definições mais concretas foram feitas com relação ao projeto do molde, indicando uma maior inter-relação da etapa de projeto preliminar do componente com o projeto do molde. Como haviam muitas restrições de projeto (tecnologia para a fabricação do molde empregada, material disponível para injeção dos componentes, limitações impostas pela máquina injetora) algumas variáveis de projeto já estavam praticamente definidas (número de cavidades, material a ser moldado). Estas restrições tornam o processo de análise mais breve, uma vez que são menores as possíveis combinações entre os parâmetros. Ao mesmo tempo, entretanto, exigem soluções criativas, de modo a contornar as restrições.

Ao fazer a análise da moldabilidade dos componentes, optou-se pela injeção direta através do canal de alimentação em um ponto central de cada um dos componentes. Esta decisão foi tomada considerando a geometria intrincada da peça e a baixa pressão de injeção requerida para preservar o molde obtido pelo processo de *rapid tooling*. Além disso, tinha-se que atender à necessidade “evitar arestas e rebarbas na direção do movimento da cédula”, e, portanto, não poderia haver marcas de injeção na superfície de contato dos componentes com as cédulas. Isto obrigou a localização do ponto de injeção dos componentes na face oposta àquela onde as cédulas deveriam circular, conforme ilustra a figura 4.10. Assim sendo, a localização do ponto de injeção não foi definida apenas considerando critérios de moldabilidade, mas também necessidades do cliente contratante e as restrições do processo de produção.

Desta forma, definiu-se em paralelo às atividades pertencentes à fase de projeto preliminar dos componentes, o leiaute da cavidade, a adoção de um único ponto de injeção e, por conseguinte, o sistema de alimentação (canal de injeção) e a posição do ponto de injeção. Os parâmetros de processo utilizados para a análise são também valores de referência para o ajuste dos parâmetros da máquina injetora, ou seja, auxiliam a fase de planejamento do processo de injeção.

Para a elaboração do projeto dos insertos dos moldes, utilizou-se o mesmo desenho tridimensional dos componentes, não havendo a necessidade de modelar novamente a geometria dos componentes. Houve, entretanto, alguns problemas para a conclusão dos modelos dos insertos, devido a limitações do sistema CAD empregado, o que exigiu um tempo extra para a

conclusão da modelagem dos mesmos (duas semanas de acréscimo ao tempo previsto).

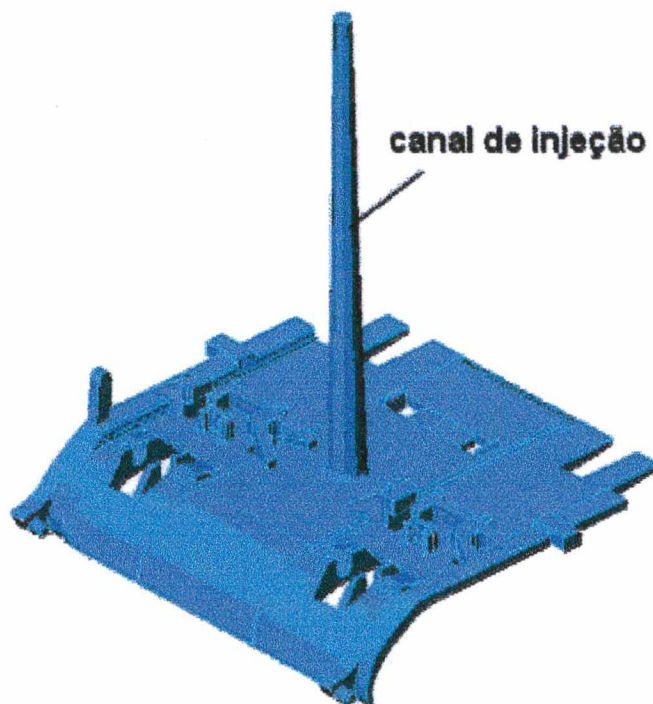


Figura 4.10 - Localização do canal de injeção no componente número um.

A compra dos itens padrões para a montagem do molde ocorreu muito tarde, além de ter ocorrido atraso na entrega dos itens por parte do fornecedor, o que resultou num inevitável atraso para a conclusão do processo de desenvolvimento (injeção do lote piloto).

4.6 RESULTADOS OBTIDOS

O projeto dos componentes foi completamente encerrado com as alterações nos desenhos, em função das observações que foram feitas no teste funcional. Obteve-se assim, as geometrias tridimensionais detalhadas dos quatro componentes, prontas para serem utilizadas nas etapas de projeto preliminar e detalhado dos moldes.

Numa análise comparativa entre o projeto dos componentes concebidos e os componentes desenvolvidos anteriormente pelo cliente contratante, pôde-se observar os seguintes pontos:

- inexistência de nervuras nas peças concebidas, reduzindo-se a tendência à ocorrência de empenamento e rechupes (problemas verificados nas peças anteriormente projetadas);
- com a adoção de um novo conceito para a função “articular componente”, a denominada peça número um tornou-se menor, devido a eliminação das hastes que tinham por função prover o

movimento articulado (ver figuras 4.11A e 4.11B). Com este novo conceito, também foi melhorado o fluxo da massa fundida no interior da cavidade do molde, uma vez que os comprimentos dos caminhos de fluxo tornaram-se mais uniformes. Além disso, pôde-se também reduzir o tamanho do molde, em virtude da cavidade ser menor;

- embora a produção prevista para os componentes não seja caracterizada como de grande escala, a diminuição na espessura de parede dos componentes resulta em menor quantidade de material necessário, devendo ser menor também, o tempo necessário para a etapa de resfriamento dentro do ciclo de injeção, contribuindo para o aumento da produtividade;
- os meios empregados para a fixação do sensor e do transdutor foram melhorados, pensando-se na facilidade de montagem e também na eliminação de problemas verificados com os ajustes dos *snap fits* adotados para a fixação destes itens nos componentes desenvolvidos pelo cliente contratante;
- a geometria menos intrincada obtida, implica em maior facilidade para a fabricação dos moldes e para a extração dos componentes após a injeção (ver figuras 4.10A e 4.10B);
- a solução concebida para a função “articular componente”, entretanto, exige o emprego de “gavetas” no molde, tornado-o mais complexo.

Até a conclusão deste relato, ainda não haviam sido confeccionadas as cavidades e nem tinha-se recebido o porta-molde para a montagem dos insertos, o que impediu a obtenção de resultados mais concretos (montagem dos moldes, ajuste da máquina injetora e injeção dos componentes).

Somente com a injeção dos componentes poderão ser feitas avaliações mais definitivas, através da análise dos componentes obtidos e verificação da ocorrência ou não de defeitos. A possível verificação de defeitos nos componentes, contudo, não implica em dizer que haja problemas de projeto. Defeitos em componentes injetados podem ser causados devido à falta de qualidade do material injetado, defeitos ou limitações do molde e má escolha dos parâmetros de produção, exigindo análises mais cuidadosas e testes adicionais, até que se tenha a definição das verdadeiras causas para os eventuais defeitos verificados.

Acredita-se que a forma tal como foi conduzido o processo de desenvolvimento dos componentes foi bem sucedida, ao considerar parâmetros relacionados com o projeto e a fabricação do molde, e com o processo de produção, desde as etapas iniciais do ciclo de desenvolvimento. A tecnologia ainda pouco explorada para a fabricação dos insertos adotada

(estereolitografia), e a falta de um histórico de dados obtidos com experiências anteriores, pode ser motivo para que os objetivos esperados (cumprimento dos requisitos de projeto) não sejam alcançados de forma imediata.

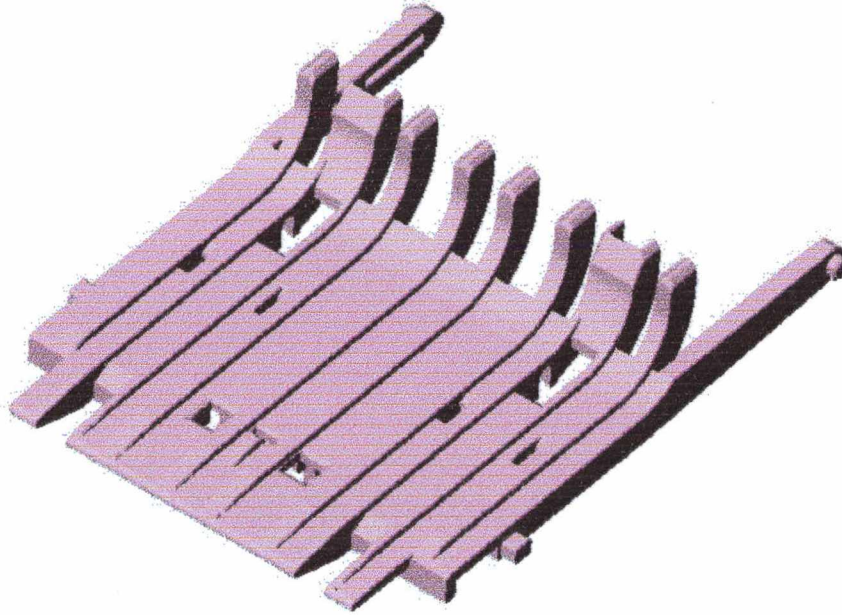


Figura 4.11 A - Componente projetado pelo cliente contratante.

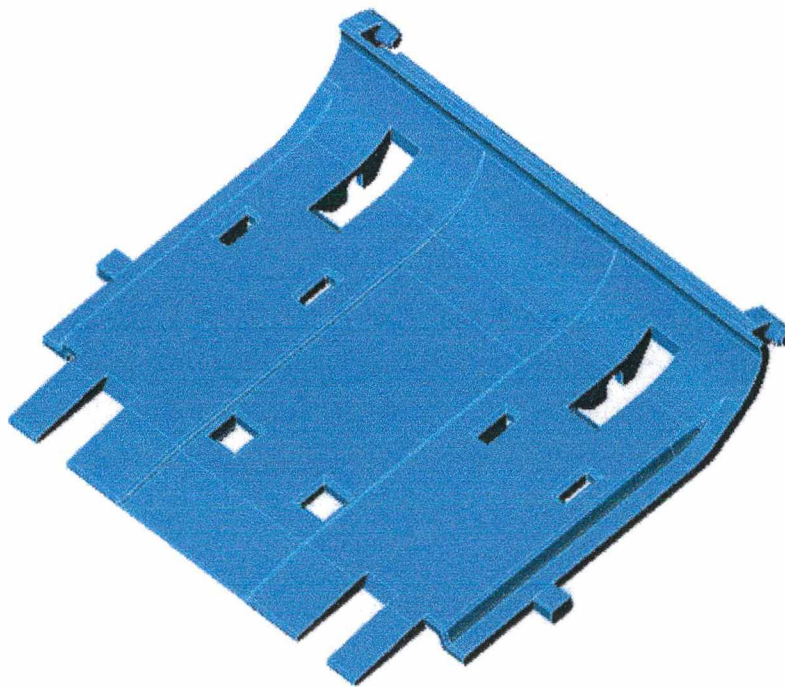


Figura 4.11 B - Componente projetado pela equipe de desenvolvimento multidisciplinar.

Em síntese, dentre os principais pontos observados ao longo do estudo de caso e que contribuíram para a formulação do modelo de desenvolvimento apresentado no próximo capítulo, pode-se relacionar o seguinte:

- importância da análise do ciclo de vida do componente como uma das primeiras tarefas a ser executada. Com a previsão dos estados e situações pelos quais o componente será submetido, é possível tomar as devidas precauções e decisões de projeto, antes que os problemas e situações adversas ocorram, e antes que o conceito do componente seja determinado. O cuidado que se teve com pesquisas junto ao cliente contratante sobre as situações de utilização e manutenção dos componentes, além de discussões sobre problemas mais comuns e limitações dos processos de fabricação do molde e produção dos componentes, foi de suma importância no momento da definição dos conceitos. Como resultado obteve-se um conceito que atendia os requisitos de projeto e que pouco foi alterado após os testes funcionais com protótipos, ou seja, evitou-se ciclos de reprojeção e problemas com a fabricação dos moldes. A análise do ciclo de vida também contribuíram para que fossem identificadas as relações e interfaces entre o projeto do sistema técnico, projeto e fabricação do molde e processo de produção, com o projeto do componente;
- importância da definição clara de quais são as necessidades e restrições de projeto. Em projetos mais complexos é importante a definição mais formal destes grupos de informações para que nenhuma informação importante seja identificada em estágios avançados do projeto, o que também causa ciclos de reprojeção, podendo inclusive invalidar o projeto. O problema resume-se em entender bem o projeto que está sendo proposto. No estudo de caso teve-se inicialmente dificuldade em tratar de modo diferenciado as restrições e necessidades de projeto. Uma vez que estes conceitos foram bem compreendidos e foi dado o devido tratamento às necessidades de projeto, verificou-se que o problema de projeto passou a ser melhor entendido (o entendimento uniforme do problema de projeto por parte de todos os integrantes da equipe não foi imediato). Na apresentação do modelo de desenvolvimento feita no próximo capítulo, esta questão será abordada em maiores detalhes, devido à importância que possui no caso de projeto de componentes, caracterizado pela presença de restrições impostas pelo sistema técnico. Após a identificação e tratamento das informações relacionadas ao ciclo de vida do componente (necessidades e restrições), a equipe não se deparou com nenhuma informação nova importante, o que contribuiu para que o processo de desenvolvimento não fosse interrompido para reconsiderações de decisões anteriormente tomadas, resultando em economia de tempo e recursos;

- a identificação de funções que os componentes deveriam cumprir e o posterior relacionamento com princípios de solução, contribuiu para a exploração de soluções diversas, considerando-se não somente aspectos funcionais, mas também necessidades e restrições relativas ao projeto do molde e ao processo de produção dos componentes. Julgou-se que o método empregado (identificação das funções, geração de princípios de solução, seleção dos princípios de solução e síntese do conceito), foi adequado para a discussão dentro de uma equipe multidisciplinar, uma vez que estimulou a geração de novos conceitos com opiniões de representantes das diversas áreas do conhecimento relacionadas. Ou seja, o conceito não foi gerado sem maiores cuidados e de forma pouco criteriosa por um único projetista que pouco conhece sobre fabricação de moldes e processo de moldagem por injeção. A tentativa inicial de conduzir o processo de geração dos conceitos através do método da síntese funcional, entretanto, não se mostrou eficaz, devido aos motivos já discutidos neste capítulo;
- a presença de um expressivo número de parâmetros a que esteve submetido o projeto, e o impacto que as decisões tomadas com base neste conjunto de informações tiveram sobre as demais fases do ciclo de vida, tornaram evidente a necessidade para que estes parâmetros sejam considerados de modo mais científico, sobretudo por estabelecer níveis de relevância considerando as necessidades e requisitos de projeto levantados anteriormente pela equipe multidisciplinar. Ter este entendimento auxilia os processos decisórios e de análise, principalmente aqueles que envolvem relações de compromisso devido a parâmetros conflitantes, o que é bastante comum neste tipo de projeto. Embora tenha consumido muito tempo para ser elaborada, a matriz Casa da Qualidade mostrou-se eficaz para o melhor entendimento do problema de projeto e para o estabelecimento de uma referência para identificação dos parâmetros de projeto mais importantes para o alcance das necessidades dos clientes relacionados com o ciclo de vida dos componentes, e quais inter-relações existem entre eles;
- a partição do processo de desenvolvimento em etapas básicas foi importante para a verificação de resultados intermediários alcançados, facilitando o controle do progresso das atividades. Entende-se como resultados intermediários, a título de exemplo, o entendimento do problema de projeto, o plano de projeto, o conceito dos componentes, os protótipos, o modelo do molde em sistema CAD 3D, dentre outros. Embora não tenha sido possível um efetivo controle e gerenciamento das atividades, dentro das condições em que o projeto foi executado, verificou-se o quanto este tipo de atividade é importante para que seja mantido o foco do projeto, a unidade da equipe e o cumprimento dos prazos planejados;

- as etapas de projeto preliminar dos componentes e projeto dos moldes foram observadas como sendo de grande potencial e necessidade para que haja maior inter-relacionamento no que tange ao cumprimento das atividades, embora a equipe de desenvolvimento deva estar efetivamente integrada desde a etapa de projeto informacional, para que seja obtido um conceito pensando-se nas etapas do ciclo de vida;
- observou-se que as etapas de projeto preliminar dos componentes e projeto dos moldes foram facilitadas e executadas sem maiores contratempos com relação ao entendimento do problema de projeto, devido a dois fatores: execução sob uma metodologia de projeto das etapas de projeto informacional e conceitual, e integração das várias especialidades em uma equipe de desenvolvimento multidisciplinar desde o lançamento do projeto. Estes dois fatores serão enfatizados na proposição do modelo de desenvolvimento;
- considerando as especificidades de cada projeto e a maior complexidade em alguns casos, as recomendações de projeto disponíveis para componentes de plástico injetados não são suficientes para contribuir de modo significativo com o bom resultado do projeto;
- importância da integração entre o projeto do sistema técnico e o projeto do componente para que sejam fornecidas todas as informações necessárias, sobretudo com relação às necessidades e recomendações de projeto. Alcançar este objetivo não foi difícil para o caso descrito. Entretanto, como é provável que existam barreiras em situações de projeto que envolvam duas ou mais empresas, este ponto será discutido na apresentação do modelo de desenvolvimento.

A aplicação prática dos conceitos e teorias através do estudo de caso contribuiu ainda para, em complemento ao que foi pesquisado na bibliografia e em entrevistas, estabelecer um conjunto mínimo e um fluxo de informações de projeto, servindo também para o estabelecimento de uma referência para os paralelismos entre as atividades, conforme o que será exposto no próximo capítulo como uma referência.

O estudo de caso cumpriu, portanto, o objetivo previsto, ao servir como uma atividade experimental de propostas metodológicas e gerenciais. A condução do estudo de caso através de uma equipe de desenvolvimento multidisciplinar, a prática de projeto, as dificuldades encontradas, a aplicação de técnicas de projeto, foram meios de grande valia para análises e avaliações que subsidiam o modelo de desenvolvimento apresentado no próximo capítulo.

CAPÍTULO 5

PROPOSTA DE UM MODELO DE ABORDAGEM PARA O PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE COMPONENTES DE PLÁSTICO INJETADOS

5.1 INTRODUÇÃO

No Capítulo 1 foram definidas as características do setor de transformação de materiais plásticos através da moldagem por injeção, com o objetivo de identificar as necessidades e dificuldades para a condução do processo de desenvolvimento de produtos dentro do contexto da realidade do setor.

No Capítulo 2 buscou-se caracterizar o processo de desenvolvimento de componentes de plástico injetados tal como é realizado na prática, através da descrição de suas principais atividades, do levantamento dos parâmetros relacionados com cada etapa do processo e da inter-relação existente entre eles.

O estudo do estado da arte das propostas metodológicas e abordagens de projeto de um modo geral e, em específico, aplicado ao domínio de componentes moldados por injeção, foi apresentado e discutido no Capítulo 3.

Neste capítulo será formulado um modelo de abordagem, visando estabelecer uma referência para os responsáveis pelo planejamento e condução de um processo de desenvolvimento de componentes de plástico injetados. O modelo proposto pretende trazer benefícios ao processo de desenvolvimento, através da introdução de conceitos e recomendações tidas como “boas práticas” pelas metodologias de projeto e estudos sobre o gerenciamento de projeto, procurando adequá-lo às atuais exigências ditadas pela competitividade. São considerados os aspectos específicos que caracterizam o processo de desenvolvimento de componentes injetados e as características do setor de transformação do plástico pelo processo de injeção, da maneira como foram apresentados nos Capítulos 1 e 2. Tendo isto por base, define-se inicialmente o conceito de ciclo de vida e ciclo de desenvolvimento. Na seqüência são estabelecidos os requisitos e os conceitos básicos da proposta. Muitas das práticas observadas através do levantamento do estado da arte feito no Capítulo 3 também são incorporados ao

modelo. A proposta tem base ainda na prática de técnicas e métodos de gerenciamento e desenvolvimento de produtos, aplicados e discutidos durante a realização do estudo de caso apresentado no Capítulo 4.

5.2 FUNDAMENTOS DA PROPOSTA

5.2.1 *Ciclo de Vida e Ciclo de Desenvolvimento de Componentes de Plástico Injetados*

Antes de apresentar o modelo de abordagem, é necessário tecer alguns comentários acerca da definição dos conceitos de ciclo de vida e ciclo de desenvolvimento de componentes de plástico injetados, uma vez que são base para as proposições que serão feitas dentro do modelo.

Conforme comentado no Capítulo 2, o projetista do produto tem suas maiores preocupações voltadas para satisfazer os requisitos funcionais, esquecendo-se dos demais requisitos do ciclo de vida (PARSAEI e SULLIVAN, 1993; PERERA, 1997). O estabelecimento de um modelo para o ciclo de vida de um produto é importante para prever os estados futuros e as condições às quais o produto será submetido ao longo das fases do ciclo. Desta forma, facilita a identificação e o entendimento das restrições, necessidades, requisitos e parâmetros de projeto relacionados com os estados futuros do produto, e que devem ser motivo de preocupação durante a fase de desenvolvimento, desde as etapas iniciais. Com este intuito, os modelos para o ciclo de vida têm sido base para algumas propostas de abordagem de projeto, algumas dentro dos conceitos da engenharia simultânea, sendo que outras, mais específicas, são classificadas como Projeto para o Ciclo de Vida (DFLC - *Design for Life Cycle*).

São muitas as propostas para a modelagem do ciclo de vida de um produto. OGLIARI (1999) classifica as propostas em dois grupos: com enfoque econômico e com enfoque na transformação.

Os modelos para o ciclo de vida com enfoque econômico são elaborados com base na expectativa de vida do produto no mercado, guardando uma forte relação com o número de produtos vendidos e o lucro proporcionado. Normalmente as fases que compõem os modelos do ciclo de vida sob o enfoque econômico são: a introdução do produto no mercado, o crescimento (nas vendas), a maturidade (o produto alcança um patamar máximo de vendas) e o declínio (nas vendas e/ou lucros obtidos). Estes modelos não são adequados para os propósitos desta dissertação, uma vez que possuem foco apenas no desempenho de mercado.

Para os modelos com enfoque na transformação, mais abrangentes e adequados aos objetivos anteriormente descritos, o ciclo de vida é definido como sendo as fases que o produto

passa desde as necessidades de mercado até o fim de sua vida útil (OGLIARI, 1999). Sob este enfoque, são vários os modelos propostos (PAHL e BEITZ, 1998; BACK, 1983; CROW, 1997; ASIEDU e GU, 1998; HUBKA e EDER, 1996). As propostas seguem basicamente as fases de desenvolvimento, produção, comercialização, uso e descarte. Algumas detalham mais cada uma destas fases. ASIEDU e GU (1998), por exemplo, enfatizam as particularidades do produto, do processo de fabricação e do sistema de suporte (atendimento ao cliente), estabelecendo um ciclo de vida para cada um destes aspectos da seguinte forma:

- para o produto: concepção, desenvolvimento, produção, uso e descarte;
- para o processo de fabricação: projeto do sistema de fabricação, operações de fabricação e reciclagem do processo;
- para o sistema de suporte: projeto do sistema de suporte, suporte e manutenção e reciclagem do suporte.

OGLIARI (1999) propôs, com base nos modelos encontrados na literatura, um modelo para o ciclo de vida de produtos de plástico injetados. Segundo este modelo, o produto de plástico injetado começa a existir devido a uma necessidade ou estímulo do mercado consumidor ou de indústrias montadoras de bens de consumo. As manifestações dos clientes são captadas e entendidas pela equipe de desenvolvimento dentro da fase de **Informação (ou Contratação)**. A viabilidade do projeto é discutida, com a possibilidade das manifestações detectadas serem transformadas em situações de projeto (requisitos de projeto, estratégias e planos de projeto, idéias de novos produtos, enfim, tudo o que define a natureza do projeto em questão). O aceite da proposta de projeto ocorre com o estabelecimento de um contrato e/ou com o encaminhamento das situações de projeto para a fase de **Projeto**. Nesta fase são estabelecidas a geometria e as características técnicas do produto através das atividades de concepção, análise e detalhamento. São normalmente resultados desta fase a materialização física do produto através de protótipos e os desenhos destinados à produção do produto. Esta fase envolve também o projeto do molde. As informações geradas na fase de Projeto são repassadas à fase de **Fabricação ou Produção**, com o intuito de tornar o produto concreto e utilizável. Para OGLIARI (1999), as etapas relacionadas com esta fase são a confecção do molde, a injeção do produto, o pós processamento e a verificação. A fase seguinte, a **Comercialização**, começa com a venda, passa pela distribuição e termina como um produto no ambiente do usuário. O produto está pronto para ser utilizado, iniciando assim a fase de **Utilização**, quando o produto deverá cumprir as funções para as quais foi desenvolvido. Nesta fase, a empresa (fabricante do produto ou responsável pela comercialização) ainda mantém responsabilidades sobre o produto, uma vez que é necessário que

haja assistência ao usuário, de modo que a utilização do produto seja garantida. Deve-se, portanto, garantir serviços de manutenção, assistência técnica, reposição e facilidade de aquisição de peças. O fim da vida útil determina o término da fase de Utilização, podendo ser definido através da obsolescência do produto, perda de eficiência, custo operacional elevado, etc. Tem início, então, a fase de **Desativação**, que tem por objetivo eliminar ou substituir o produto. O produto é então completamente descartado ou reaproveitado em outros processos de conversão. OGLIARI (1999) salienta que no caso de componentes de plástico deve-se considerar, na fase de Desativação, o uso de materiais reciclados e princípios para a desmontagem.

A estrutura proposta por OGLIARI (1999) para o ciclo de vida de produtos de plástico injetados de uma forma geral, parece adequada para os propósitos desta dissertação, uma vez que é bastante completa e detalhada. Apenas duas ressalvas são feitas quanto à fase de Projeto e quanto à fase de Comercialização, a fim de melhor adequá-las para o caso específico de componentes de plástico injetados e para promover uma maior integração entre as fases de Projeto e Produção. Propõe-se, assim, tratar a atividade de fabricação do molde não como uma atividade da fase de Produção, mas sim como uma atividade mais relacionada ao projeto ou ao desenvolvimento do componente, embora não seja esta a abordagem convencional adotada na prática. O motivo da opção por esta abordagem ficará mais claro através da definição do ciclo de desenvolvimento de componentes de plástico injetados, feita ainda nesta seção. Quanto à fase de Comercialização, seu objetivo é atingir o consumidor final, na definição de OGLIARI (1999). Entretanto, no caso das empresas que produzem componentes de plástico injetados, o cliente direto não é o consumidor final, mas sim uma indústria montadora de bens de consumo final. Como uma implicação disto, tem-se que a comercialização do componente injetado tem algumas especificidades. Não há, por exemplo, maiores preocupações quanto à logística de distribuição, uma vez que, em grande parte dos casos, o lote de componentes produzidos é entregue integralmente a um determinado cliente. Em contrapartida, o fabricante do componente deve adequar-se ao sistema de produção do cliente-contratante, observando prazos de entrega e políticas de fornecimento, como o *just-in-time*, que determinam o tamanho do lote de produção. A comercialização de um componente não termina, portanto, no ambiente do usuário final, mas sim na linha de produção do fabricante do sistema técnico no qual será montado. Deve por isso, estar também em conformidade com o nível de qualidade estabelecido pelo cliente, para que seja aprovado e efetivamente empregado. O fato de não atender diretamente ao cliente consumidor final, entretanto, não diminui a responsabilidade do fabricante do componente para com as necessidades e exigências correspondentes à fase de utilização, tal como foi descrito no modelo

do ciclo de vida proposto por OGLIARI (1999). Questões como condições do ambiente de uso, facilidade de manutenção e reposição das peças e robustez durante a operação, devem ser preocupações presentes na fase de Projeto do componente.

A importância relativa de cada uma das etapas do ciclo de vida é estabelecida conforme o produto e a política estratégica da empresa (CROW, 1997). Assim sendo, a equipe de projeto deve analisar o ciclo de vida do componente, identificando as necessidades, requisitos e parâmetros relacionados a cada uma das fases do ciclo de vida, e estabelecer prioridades de projeto. Esta é uma forma de auxílio para o estabelecimento das especificações e atributos do componente, servindo também como base e para justificar as decisões tomadas ao longo do projeto.

Considerando a complexidade da fase de Projeto e o forte grau de inter-relação com a fase de Produção no caso específico de componentes de plástico injetados, conforme discutido no Capítulo 2, é adequado para os propósitos desta dissertação, detalhar em maior profundidade a fase de Projeto. Para isso, introduz-se o conceito de ciclo de desenvolvimento. O ciclo de desenvolvimento está inserido dentro do ciclo de vida do componente e envolve todas as etapas e atividades necessárias para tornar o produto concreto (DARÉ *et al.*, 2000). Tem início com o entendimento do problema e levantamento das necessidades de projeto, e termina com a aprovação do lote piloto. O projeto e a fabricação do molde são portanto, por esta definição, etapas dentro do ciclo de desenvolvimento do componente. Entende-se que, uma vez aprovado o lote piloto, não deve mais haver alterações no produto, estando este completamente desenvolvido e pronto para a fabricação em série. Somente a partir deste ponto tem início a fase de produção do componente.

Sob esta ótica, a fase de Projeto assume um conceito mais amplo, sendo melhor denominada como fase de **Desenvolvimento**, envolvendo também tarefas tipicamente da fase de Produção, inclusive aspectos de planejamento do processo de produção do componente. Desta forma, todos os problemas de projeto devem ser eliminados pela equipe de desenvolvimento antes da produção em série, quando os responsáveis pela fabricação assumem a responsabilidade pelo produto. Busca-se assim, maior integração entre as equipes responsáveis pelo projeto e produção do componente, melhorando a troca de informações entre as duas especialidades. Naturalmente, para que esta abordagem seja viável, é necessário a integração dos conhecimentos de especialistas das duas fases, Projeto e Produção, e o estabelecimento de eficientes meios de comunicação. Este é o principal objetivo deste enfoque, ou seja, tornar o processo de desenvolvimento integrado e multidisciplinar, procurando evitar que os problemas com o produto sejam identificados somente

no momento da produção.

Estas definições estão em sintonia com a implantação de um ambiente de engenharia simultânea, uma vez que agrega responsáveis pela produção ao processo de desenvolvimento de produto, permitindo o desenvolvimento de atividades paralelas e eliminando as barreiras entre projeto e produção, próprias de um processo sequencial tradicional de desenvolvimento. Isto também contribui para que os aspectos relacionados com a fase de Produção (necessidades, restrições, recomendações, etc.) sejam considerados desde as primeiras etapas da fase de Desenvolvimento, evitando as modificações tardias no produto e no molde, e os desentendimentos entre os setores de produção e desenvolvimento.

No caso específico de componentes de plástico injetados, propõe-se que o ciclo de desenvolvimento seja desdobrado nas seguintes fases: **projeto do componente**, **projeto e fabricação do molde**, e **planejamento do processo de produção do componente**. A figura 5.1 ilustra o ciclo de desenvolvimento de componentes de plástico injetados, em conjunto com as fases do ciclo de vida do produto, tal como foi definido anteriormente.

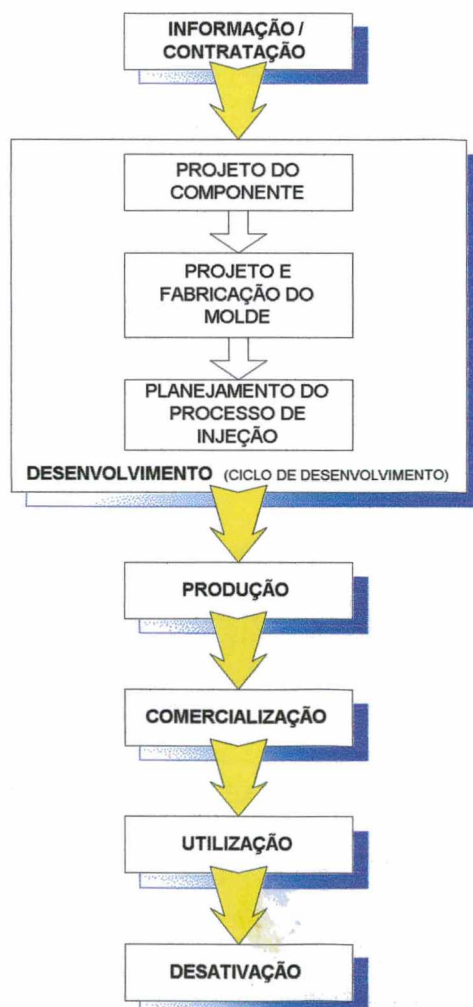


Figura 5.1 - Ciclo de vida e ciclo de desenvolvimento de componentes de plástico injetados.

A proposta defendida nesta dissertação tem foco na etapa de projeto do componente, porém com a consideração das demais etapas do ciclo de vida, dentro dos conceitos introduzidos pela engenharia simultânea e projeto para o ciclo de vida. A proposta de um modelo de abordagem para o processo de desenvolvimento de componentes de plástico injetados apresentada nas seções seguintes, tem base nestes conceitos, nos parâmetros do ciclo de vida e na definição dos clientes de projeto feita no item 2.2.1.

5.2.2 Definição dos Requisitos da Proposta

A proposta tem por objetivo a melhoria do processo de desenvolvimento de componentes de plástico injetados, visando influenciar positivamente nos padrões de concorrência, sejam eles tempo de desenvolvimento, custo ou qualidade. Desta forma deve-se eliminar os vícios de projeto e a tendência a evitar etapas importantes na execução prática do processo de desenvolvimento. Por outro lado deve-se adequar a proposta ao ambiente da prática de projeto, ou seja, ao setor e às indústrias que participam do processo de desenvolvimento do componente, considerando suas necessidades, limitações e características.

Deste modo, a proposta a ser definida deve considerar os seguintes requisitos determinados com base no diagnóstico do setor, no estudo de caso, nas entrevistas na indústria e nas características do processo de desenvolvimento de componentes de plástico injetados:

- deve ser adequada às características de projeto de componentes, conforme discutido no Capítulo 3.
- deve ser adequada às características básicas do setor de componentes de plástico moldados por injeção, conforme apresentado no item 1.1.3.
- não deve ser rígida em seus procedimentos, permitindo adaptações. Deve dar margem para que a equipe de projeto estabeleça sua própria estratégia de projeto, o que implica também em identificar as melhores técnicas para aplicação numa determinada situação de projeto. O modelo deve ser interpretado no contexto do problema de projeto, de acordo com características da equipe e cultura organizacional da empresa;
- não deve ser demasiadamente detalhada, permitindo sua aplicação como uma referência a um maior número de casos, além de ser de fácil entendimento, memorização e incorporação à atividade prática de projeto;
- deve contribuir para a redução do tempo do ciclo de desenvolvimento, sobretudo com relação à fase de projeto e fabricação do molde;
- deve incorporar conceitos básicos de gerenciamento e ser compatível com práticas e normas de

controle de projeto.

Considerando os requisitos básicos, a proposta é fundamentada nos seguintes pontos:

Melhor entendimento do problema de projeto: o projeto não deve ser iniciado sem que a equipe de desenvolvimento busque pelo completo entendimento do problema de projeto, necessidades dos clientes, requisitos e restrições de projeto, objetivos, metas, responsabilidades e cronograma de projeto.

Consideração dos parâmetros relacionados com o ciclo de vida do componente, desde as etapas iniciais do processo de desenvolvimento (qualidade incorporada ao produto): o que implica em conhecimento do ciclo de vida do componente e dos clientes associados, ouvir a “voz do cliente”, projeto para manufatura e montagem (DFM/DFA), desde a etapa de projeto informacional.

Integração das especialidades envolvidas com as etapas do ciclo de desenvolvimento do componente: formação de uma equipe de desenvolvimento com integrantes representando as áreas do conhecimento envolvidas com o ciclo de desenvolvimento do componente, desde a geração do conceito até a aprovação do lote piloto. A equipe não precisa estar fisicamente reunida, embora este seja o meio ideal para a boa comunicação entre os integrantes.

Antecipação dos problemas (investimento de tempo): com a consideração dos parâmetros do ciclo de vida desde as etapas iniciais de projeto, além das necessidades dos clientes internos e externos, muitos problemas são identificados antecipadamente. Isto causa maior demora para a execução das etapas iniciais de projeto (projeto informacional e projeto conceitual) pela maior quantidade de informações e discussões entre os integrantes da equipe de projeto. Em contrapartida, o problema de projeto é melhor entendido como um todo e o conceito do componente gerado deve contribuir no sentido de eliminar ou minimizar os problemas relacionados com as etapas posteriores do ciclo de desenvolvimento e da produção do componente. O retorno do “investimento” devido ao emprego de maior tempo nas etapas iniciais do projeto é alcançado com a eliminação ou redução dos ciclos de reprojeto, menor tempo total e recursos investidos para o desenvolvimento do componente, maior qualidade do componente e, por conseguinte, maior satisfação do cliente. Os custos envolvidos com a prevenção do problema são menores que os necessários para corrigi-lo. Em síntese, emprega-se mais tempo para o entendimento da tarefa de projeto, coleta de informações e geração da concepção, poupando-se tempo e recursos nas etapas posteriores. São nas fases iniciais que as ações no sentido da redução do tempo de desenvolvimento têm um custo menor e um grande impacto.

Simultaneidade das atividades: atividades devem ser executadas em paralelo quando for

conveniente e viável segundo o fluxo de informação e resultados de projeto. Atividades devem ser antecipadas, sobretudo aquelas pertencentes ao caminho crítico, com o objetivo de que não ocorram atrasos por motivo de limitações de recursos e atrasos na entrega por terceiros de serviços ou materiais. Resultados intermediários, e não apenas os resultados finais de uma determinada atividade, devem ser repassados para atividades subsequentes, desde que completamente definidos.

Avaliações sistemáticas e periódicas do projeto (custo da não-qualidade): quanto mais tarde for detectado um problema, maior será o custo para a sua solução, e maior terá sido o investimento realizado. Metas intermediárias de projeto (*milestones* ou marcos de projeto) devem ser estabelecidas como parâmetros de avaliação.

A proposta deve ter incorporada em sua morfologia os princípios acima citados, de modo que o projeto seja conduzido dentro destes mesmos princípios. Sob estas considerações, a estrutura da proposta é apresentada na seqüência dos itens deste capítulo.

5.2.3 Estrutura da Sistemática Proposta

A estrutura de uma abordagem sistemática de projeto é caracterizada pelas etapas e pela seqüência proposta para a execução das atividades previstas. A estrutura da sistemática que é apresentada e detalhada nos próximos itens, tem base no ciclo de desenvolvimento definido no item 5.2.1. A sistemática é, na definição de suas etapas, um desdobramento das fases que compõem o ciclo de desenvolvimento (fase de projeto do componente, fase de projeto e fabricação do molde, e fase do planejamento do processo de produção). A figura 5.2 ilustra as fases e as etapas do processo de desenvolvimento de componentes de plástico injetados.

Conforme discutido no item 3.2.2, as metodologias e sistemáticas de projeto são freqüentemente constituídas por quatro etapas: entendimento da tarefa de projeto, estabelecimento do conceito de projeto, projeto preliminar e projeto detalhado. Na prática, as empresas adotam diferentes números de etapas e denominações, sendo que freqüentemente o estabelecimento de uma estrutura sistematizada que define um procedimento de projeto, está mais relacionado com aspectos gerenciais e atendimento a normas de qualidade, do que com o estabelecimento de uma estratégia ou uma metodologia de projeto. Normalmente estes procedimentos são fixados através de normas internas.

Na aplicação prática, muitas vezes, as principais etapas do processo de desenvolvimento não podem ser claramente definidas. Dependendo da situação de projeto, pode ser necessário já na etapa de projeto conceitual um desenho em escala para que seja selecionada a melhor opção

ou, por outro lado, o desenho preliminar pode ser apenas um esboço (Leyer *apud* PAHL e BEITZ, 1996). Entretanto, há uma seqüência lógica mais ou menos comum à maioria das situações de projeto. A divisão do processo de desenvolvimento de produtos em etapas tem como objetivos o melhor entendimento de todo o processo, o estabelecimento de metas intermediárias de projeto, o melhor controle gerencial das atividades, a documentação dos procedimentos e decisões tomadas e, por fim, a condução do processo de uma forma lógica e sistematizada, visando a otimização dos resultados.

Para o alcance destes objetivos, julgou-se conveniente segmentar a abordagem sistemática proposta para a fase de projeto do componente em quatro etapas, conforme tem sido proposto por muitas metodologias clássicas de projeto: etapa de projeto informacional, de projeto conceitual, de projeto preliminar e de projeto detalhado. A denominação escolhida para cada etapa também está dentro da nomenclatura padrão, com exceção da primeira, a etapa de projeto informacional, que muitos autores denominam como entendimento ou esclarecimento da tarefa de projeto. O termo projeto informacional foi proposto por FONSECA (2000), com o objetivo de dar maior importância a esta etapa, muitas vezes negligenciada, através da atribuição do termo “projeto”. Genericamente, a caracterização das etapas foi apresentada no item 3.2.2. Nas seções seguintes, as etapas de projeto serão caracterizadas para o caso particular de projeto de componentes de plástico injetados.

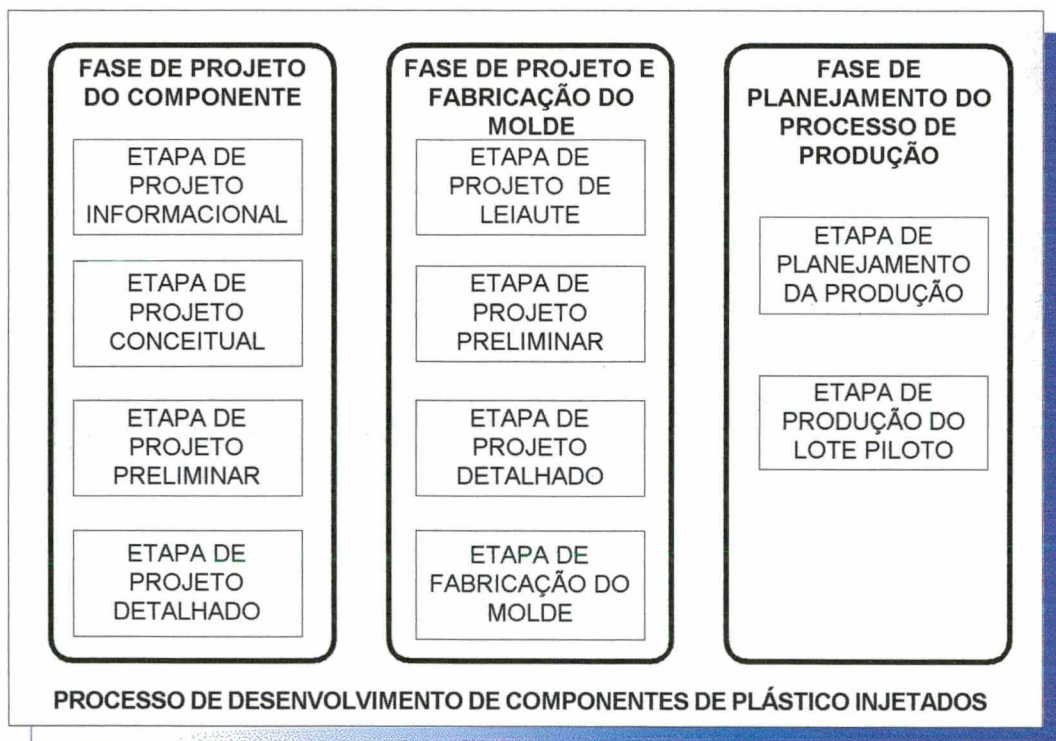


Figura 5.2 - Fases e etapas do processo de desenvolvimento de componentes de plástico injetados.

No caso do projeto do molde, levando-se em consideração suas características e particularidades, além de objetivar a integração ao projeto do componente, optou-se pelo seqüenciamento das atividades em três etapas: projeto de leiaute, projeto preliminar e projeto detalhado. Maiores justificativas e caracterização das etapas do projeto do molde são feitas na seção 5.4.

A figura 5.3 representa a sistemática proposta para o processo de desenvolvimento de componentes de plástico injetados em suas principais fases, e os fatores associados que serão discutidos e detalhados nos próximos itens deste capítulo.

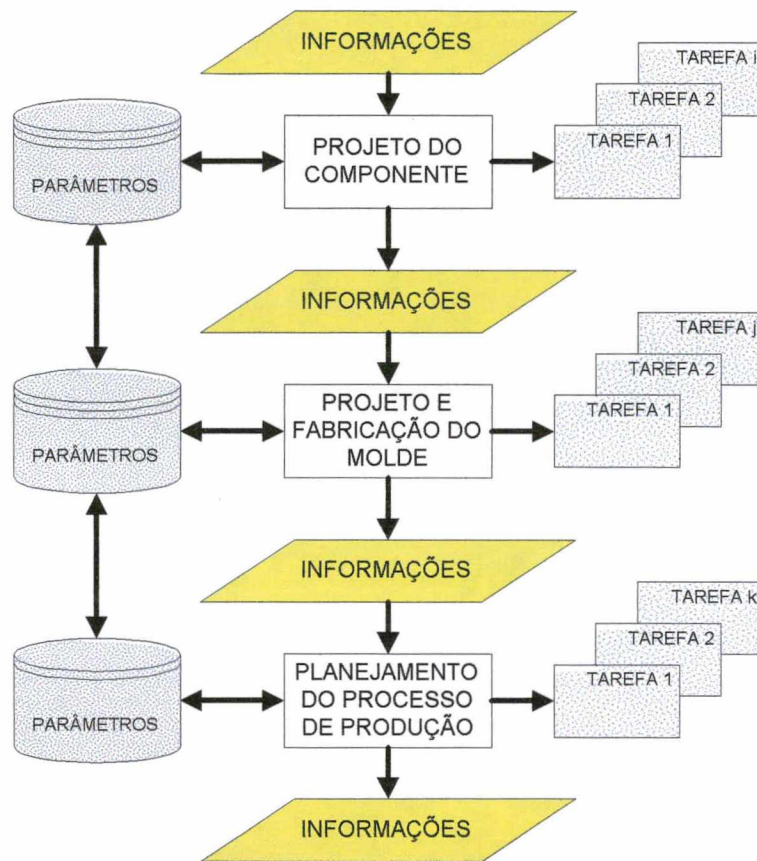


Figura 5.3 - Processo de desenvolvimento de componentes de plástico injetados.

Para facilitar a compreensão, os procedimentos propostos para cada etapa serão esquematizados na forma de fluxogramas. Neste formato serão apresentadas as informações de entrada para a etapa, as tarefas correspondentes, os documentos de projeto e as saídas que se espera de cada tarefa e da etapa como um todo. Pretende-se assim, sistematizar o processo de desenvolvimento de componentes de plástico injetados, buscando-se o alcance dos objetivos anteriormente descritos. Além disso, através da caracterização das informações de entrada e saída e dos resultados esperados, busca-se subsídios para a determinação dos possíveis paralelismos durante a execução das tarefas, segundo o fluxo informacional. A figura 5.4 determina o

significado da simbologia adotada, e fornece uma visão geral da estrutura dos fluxogramas que serão apresentados. Deve-se observar as categorias “saída de informações intermediárias” e “saída intermediária de documentos”. São resultados que devem ser adiantados para outras etapas que ocorrem em paralelo, indicando que não é necessário encerrar a etapa para que estes resultados sejam repassados para outras etapas dependentes destes resultados. Pretende-se assim, indicar como o tempo do processo de desenvolvimento pode ser abreviado pela antecipação de resultados.

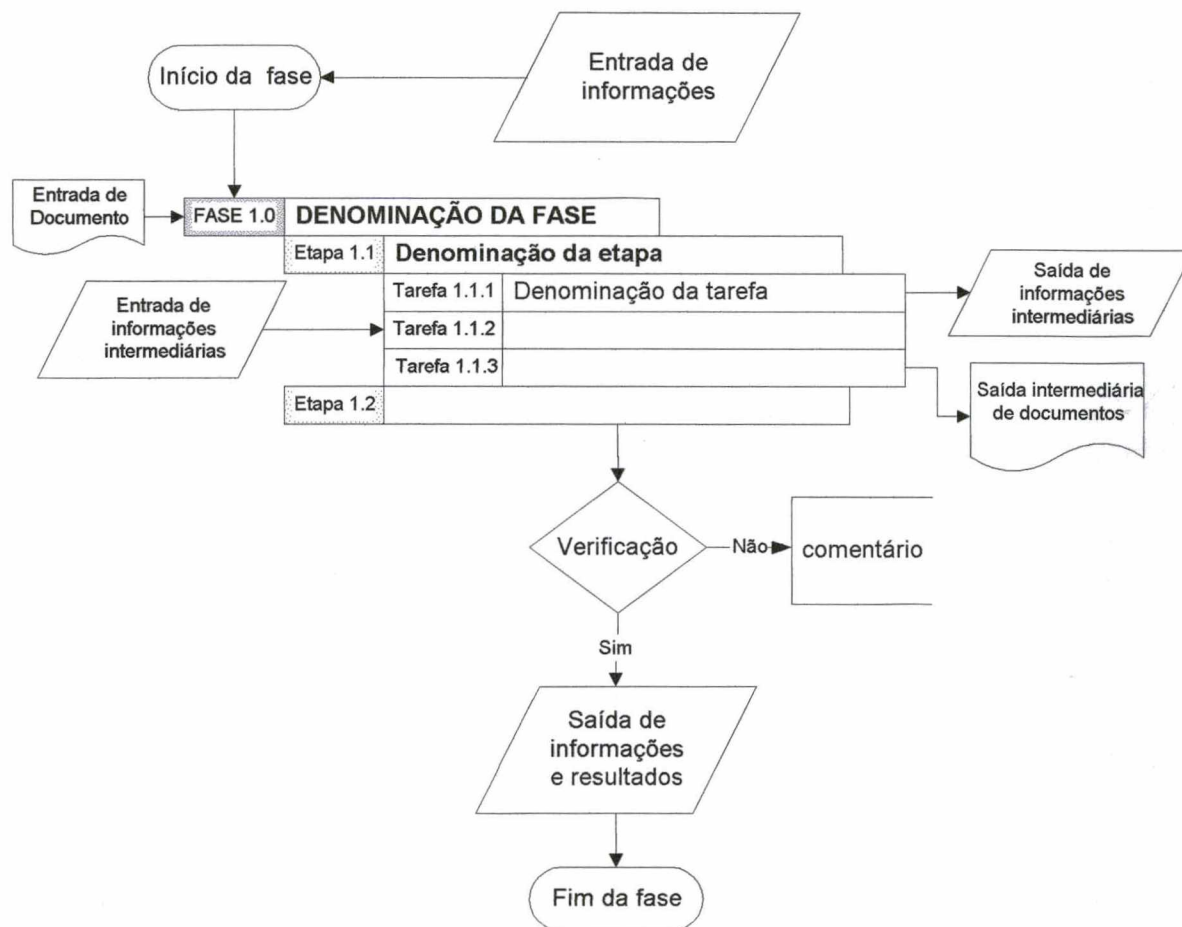


Figura 5.4 - Significado dos símbolos adotados nos fluxogramas que ilustram a proposta.

5.3 FASE DE PROJETO DO COMPONENTE

5.3.1 Etapa de Projeto Informacional do Componente

Embora seja uma etapa de grande importância e com muita influência nas decisões tomadas nas etapas posteriores de projeto, verificou-se nas propostas de abordagem de projeto de produtos de plástico injetados apresentadas na seção 3.2, e no levantamento realizado junto às indústrias, que pouca importância é dada à etapa de projeto informacional ou ao entendimento do

problema de projeto. Conforme a revisão bibliográfica feita no Capítulo 3, as propostas de BACK (1998), OGLIARI (1999) e MALLOY (1994) são as que conferem maior destaque a esta etapa.

Este item tem por objetivo propor uma abordagem para a etapa de projeto informacional de componentes de plástico injetados, procurando-se adequar as várias propostas e recomendações feitas para o tratamento das informações necessárias para o entendimento da tarefa de projeto. Buscar-se-á identificar quais são as informações de entrada, os resultados, atividades e técnicas de projeto sugeridas.

No caso de produtos acabados para o consumo, o entendimento do problema de projeto e a identificação de necessidades de projeto estão intimamente relacionados com aspectos de mercado e da economia, e com a estratégia da empresa. Já para o caso de projeto de componentes, o entendimento do problema de projeto está mais relacionado com as necessidades expressas pelo cliente contratante. Grande parte destas necessidades tem base no sistema técnico onde o componente será montado, o que faz com que as necessidades sejam expressas de uma forma mais próxima da linguagem técnica, embora necessidades do cliente usuário estejam, normalmente, implícitas nas informações fornecidas pelo cliente contratante. Esta característica não é comum quando as necessidades são identificadas diretamente a partir de clientes consumidores ou usuários. Por conseguinte, outros fatores diferentes daqueles relacionados com o mercado, conjuntura econômica e estratégia da empresa, tornam-se importantes no caso do desenvolvimento de componentes de plástico injetados.

Na prática, esta falta de contato com o usuário final do produto é traduzida em um projeto pouco orientado às necessidades do cliente usuário. Identifica-se, portanto, uma falha de comunicação devido à falta de conexão entre o projeto do sistema e o projeto do componente correspondente. Desta forma, é necessário fazer uso de uma abordagem apropriada de projeto, para que informações importantes não sejam negligenciadas ou consideradas em uma etapa tardia do processo de desenvolvimento do componente. Sugere-se, então, um maior envolvimento do cliente contratante nas primeiras etapas do projeto do componente, integrando-o, caso necessário, até mesmo na equipe multidisciplinar de desenvolvimento. A transferência dos requisitos de projeto do sistema técnico para o projeto dos componentes que o constituem, também é uma prática recomendada.

O Desdobramento da Função Qualidade (QFD) como forma de transferir os requisitos de projeto do sistema técnico para o projeto do componente é uma das formas de cumprir esta tarefa de maneira mais sistemática. Com o uso desta técnica, as necessidades dos clientes seriam repassadas ao projeto do componente através dos requisitos do sistema ou do subsistema

correspondente, que passariam a ser tratados como as necessidades do projeto do componente. Estas, por sua vez, seriam analisadas dentro de uma matriz Casa da Qualidade e traduzidas em requisitos de projeto do componente. O processo é ilustrado na figura 5.5. Com a consideração dos requisitos de projeto do sistema técnico, o projeto do componente incorpora também as necessidades do usuário, e não somente as necessidades técnicas do cliente contratante. Desta forma, as decisões tomadas em nível de componente, como seleção do material e do processo de fabricação, também consideram as necessidades dos usuários do sistema no qual será montado o componente. Um exemplo da aplicação deste procedimento para o projeto de um gabinete de plástico injetado é descrito por BEITER e ISHII (1999). A adoção de métodos como o QFD pode ser bastante útil, principalmente em projetos de componentes mais complexos, quando as necessidades e requisitos são menos evidentes e o entendimento do problema não é tão trivial, como foi observado durante a execução do estudo de caso. Ao ter como objetivo a consideração de necessidades e requisitos de projeto relacionados com as fases do ciclo de vida, a matriz de QFD é tipicamente uma ferramenta para ser utilizada em equipe. A tradução das necessidades em requisitos e o estabelecimento das relações entre estes, pode ser difícil de ser efetuada, ou mesmo ser tendenciosa, se a matriz de QFD for elaborada apenas por profissionais da área de desenvolvimento do produto. Conforme comentado no item 3.3.2, é difícil dentro do setor de desenvolvimento e produção de componentes de plástico injetados, a reunião *in loco* de uma equipe de desenvolvimento multidisciplinar, o que dificulta a elaboração de uma matriz de QFD. Ferramentas para o registro de discussões e observações feitas em projetos anteriores para auxiliar os relacionamentos entre as necessidades e requisitos de projeto, assim como o suporte de *softwares* específicos para a obtenção de informações relevantes de projeto via Internet, podem colaborar no sentido de atenuar estas dificuldades. Podem ser de grande utilidade as ferramentas de coleta de informações, como os módulos DEFNEC (Programa de Auxílio à Definição de Necessidades de Projeto) e QFD do sistema SACPRO, proposto por OGLIARI (1999). Estes mecanismos, entretanto, ainda não foram completamente desenvolvidos, e precisam ser particularizados para um campo de aplicação bastante restrito.

A grande quantidade de informações a serem tratadas no processo de desenvolvimento também exige ferramentas para auxiliar, ou mesmo viabilizar, o fluxo de informações que se pretende manter ao longo do processo. Como exemplo de uma ferramenta para este fim, cita-se o KALIF (Kunststoffgerechtes Anforderungslisten-System für die Formteilentwicklung), programa para o gerenciamento dos requisitos de projeto de componentes de plástico proposto por MICHAELI *et al.* (1999).

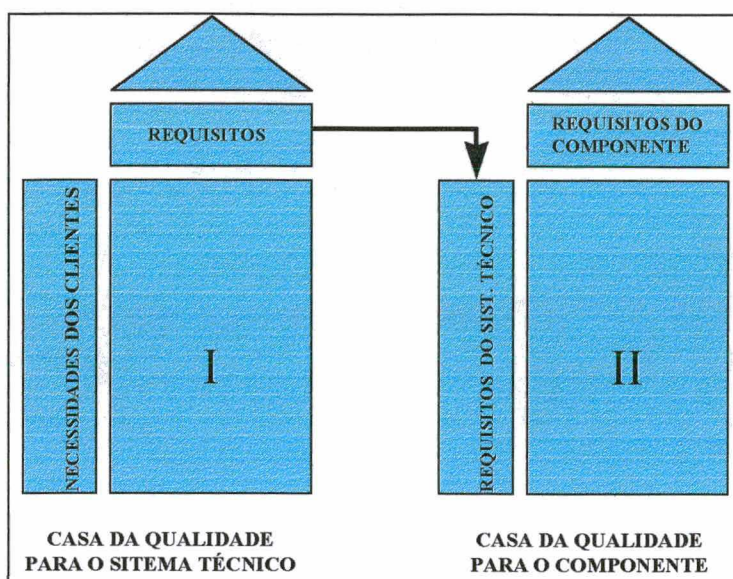


Figura 5.5 - Transferência dos requisitos de projeto do sistema técnico ao projeto do componente (BEITER e ISHII, 1999).

Sob um outro aspecto, projetos de componentes possuem como particularidade a compatibilidade requerida com sistemas técnicos globais, o que implica em restrições de projeto impostas pelas características determinadas pelo sistema técnico. Questões como interface de montagem, tolerâncias, compatibilidade de forma e materiais, tornam-se importantes neste tipo de projeto. Em um certo grau de abstração, pode-se inclusive considerar o sistema técnico como um cliente de projeto, devendo-se procurar satisfazer as condições impostas pelas características e necessidades atribuídas ao sistema.

Devido a esta característica, no levantamento das necessidades de projeto de componentes de um modo geral, é comum surgir uma grande quantidade de restrições de projeto imposta pelo sistema técnico correspondente, conforme descrito no estudo de caso. Para melhor entendimento da tarefa de projeto recomenda-se, então, a distinção entre necessidades de projeto e restrições de projeto. As necessidades de projeto são atributos desejáveis ou mesmo exigidos, tais como boa resistência a temperaturas elevadas, boa aparência, fácil fabricação; enquanto que as restrições de projeto são condições que obrigatoriamente devem ser satisfeitas, sob pena de o componente ser incompatível com o sistema para o qual se destina, ou não ser viável sob o ponto de vista econômico ou da fabricação. Como exemplos de restrições de projeto pode-se citar um comprimento ou espessura predeterminados, ou ainda a localização dos pontos de fixação. Além das restrições impostas pelo sistema técnico, deve-se buscar saber ainda quais são as restrições de projeto relacionadas com as demais fases do ciclo de vida, tais como a capacidade da máquina injetora, a tecnologia disponível para a fabricação do molde, materiais ou recursos financeiros

disponíveis. Outros fatores podem ainda impor restrições, como normas regulamentadoras e de segurança.

Esta distinção entre necessidades e restrições de projeto é importante para que seja dado o devido tratamento às informações, conforme ficou claro no estudo de caso conduzido e relatado no Capítulo 4. Diferente do tratamento dado às necessidades de projeto, as restrições de projeto podem ser vistas como requisitos de projeto já fornecidos pelos clientes de projeto, não sendo necessária a sua interpretação e tradução, tal como ocorre com as necessidades.

Além das restrições de projeto, todos os demais envolvidos no processo de desenvolvimento do componente devem expressar suas necessidades. A formação de uma equipe de desenvolvimento multidisciplinar desde o início do projeto contribui neste sentido, uma vez que os representantes das várias áreas envolvidas no desenvolvimento do componente podem manifestar-se desde as primeiras etapas do processo, conforme foi verificado no estudo de caso. Para um melhor entendimento, certeza de que todas as necessidades foram consideradas e classificação das necessidades segundo o grau de importância, sugere-se que estas sejam divididas em grupos de acordo com os clientes de projeto ou com as fases do ciclo de vida, conforme foram definidos respectivamente no item 2.2.1 e na seção 5.2. No caso do projeto de componentes de plástico injetados, propõe-se como sugestão, agrupar as necessidades em categorias, tais como: cliente contratante, fabricação do molde, processo de moldagem por injeção, utilização e descarte. O agrupamento das necessidades depende da natureza do projeto e da conveniência da equipe de desenvolvimento. Durante o estudo de caso descrito no Capítulo 4, adotou-se a matriz Casa da Qualidade para o tratamento das necessidades de projeto. Na matriz ilustrada no Apêndice 3, tem-se um exemplo de agrupamento das necessidades em categorias conforme as fases do ciclo de vida do componente. Uma análise crítica quanto ao emprego da matriz Casa da Qualidade no projeto de componentes de plástico injetados, com base na aplicação da técnica ao estudo de caso, foi descrita no Capítulo 4. Deve-se ressaltar, entretanto, que somente cada situação de projeto pode indicar a melhor ferramenta a ser empregada em conjunto com a abordagem de projeto que está sendo proposta. Num estudo específico sobre o levantamento dos requisitos de projeto, FONSECA (1996) identificou na literatura duas técnicas frequentes para o apoio desta atividade: a utilização de listas padrões de requisitos de projeto como uma *checklist*, e o emprego da matriz Casa da Qualidade. O autor salienta que o emprego de listas padrões de requisitos é mais apropriada para o caso de projetos simples, enquanto que a matriz Casa da Qualidade proporciona uma análise mais profunda, embora seja uma técnica trabalhosa e que demanda tempo, sendo recomendada a adoção de programas computacionais de

apoio. Para que sejam eficientes, as listas padrões de requisitos devem ser curtas e específicas para o caso de desenvolvimento de componentes de plástico injetados. Podem ser obtidas a partir da prática de projeto em um determinado campo. Dentro deste item, nenhuma recomendação quanto a adoção de uma técnica de projeto em específico está sendo feita, visto que a melhor escolha depende do nível de complexidade do projeto e da própria equipe. CLAUSING (1994) e EVANS (1993) recomendam que o julgamento quanto a adequação das ferramentas de projeto seja feito pela própria equipe de projeto, como forma de aumentar o comprometimento quanto ao seu emprego efetivo.

É importante que fique claro para a equipe de desenvolvimento do componente quais são as necessidades de projeto e as restrições de projeto. As necessidades de projeto, geralmente informações qualitativas, devem ser traduzidas em requisitos de projeto, se possível quantificáveis, que por sua vez serão desdobrados em especificações de projeto.

O estabelecimento dos requisitos e especificações de projeto é muito eficiente para o processo de desenvolvimento de soluções, pelo menos para o caso de um projeto por inovação, e tem sido amplamente adotado pela indústria (PAHL e BEITZ, 1996).

Um outro grupo de informações que é de grande utilidade no projeto de componentes, são as recomendações de projeto ditadas pelas necessidades relacionadas com as fases do ciclo de vida, tais como maior facilidade no momento da manufatura, melhora no desempenho funcional, ou maior facilidade para a reciclagem, conforme discutido no Capítulo 2 e exemplificado no Apêndice 2.

Propõe-se também, que seja feita nesta etapa, a identificação da(s) função(ões) que o componente deve desempenhar. Além das informações fornecidas pelo cliente contratante ou pela equipe de projeto do sistema técnico, como auxílio a esta atividade pode-se fazer uso de listas de funções padrões, além da análise do comportamento do componente em serviço através de simulações de situações de uso com base em suposições. A identificação de funções do componente com base em ícones de projeto proposta por OGLIARI (1999) pode ser útil em projetos muito complexos, onde há dificuldade em identificar todas as funções para o componente, embora, neste caso, recomenda-se a utilização de recursos computacionais de apoio (OGLIARI, 1999). Em muitos casos, poucas funções são atribuídas a um único componente. Além disso, através da análise de alguns componentes, pode-se constatar que existe um grupo típico de funções que estão frequentemente associadas ao projeto de componentes de plástico injetados tais como: resistir, fixar, posicionar, articular, segurar, limitar, cobrir, guiar e prover acesso (ver item 3.2.4).

Nesta etapa deve-se ainda, a partir do entendimento do problema de projeto, estabelecer um plano de projeto. Basicamente, o plano de projeto deve conter objetivos e metas de projeto (*milestones* ou marcos de projeto), cronograma, sistemática de avaliação dos resultados de projeto, previsão das atividades e dos recursos necessários, além dos envolvidos e responsáveis por cada uma das atividades. É muito importante para o bom andamento do processo de desenvolvimento, que estas questões sejam bem entendidas pelos envolvidos com o projeto do componente, e que estejam presentes ao longo de todo o ciclo de desenvolvimento do componente. São informações mínimas que servem de parâmetro para o gerenciamento das atividades e para manter o foco nos objetivos de projeto.

A figura 5.6, resume as informações de entrada, as tarefas e as saídas da etapa de projeto informacional de componentes de plástico injetados, conforme o que foi anteriormente proposto.

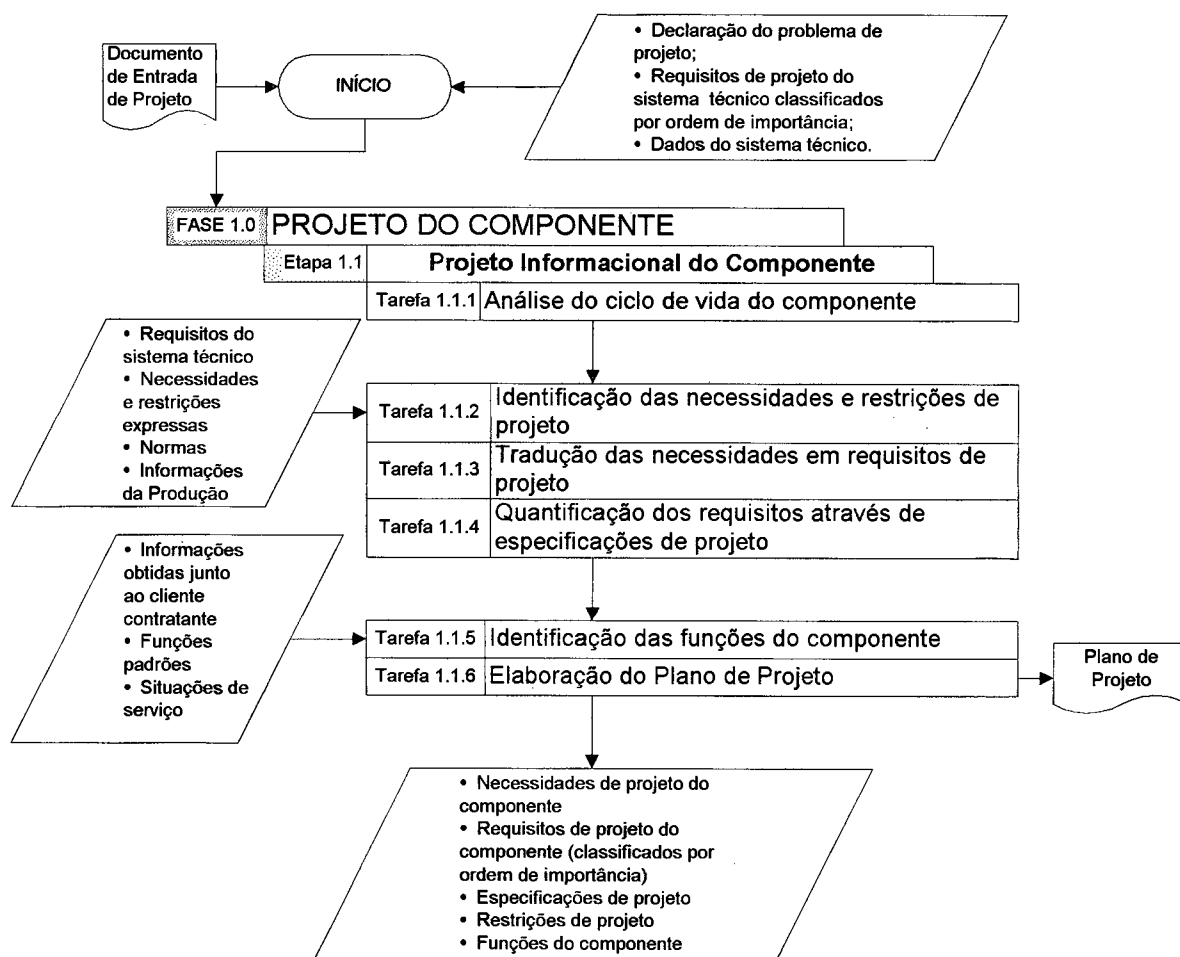


Figura 5.6 - Etapa de projeto informacional de componentes de plástico injetados.

Em resumo, ao longo da etapa de projeto informacional do componente de plástico injetado deve-se trabalhar com os seguintes grupos de informações: requisitos do sistema técnico, necessidades do cliente contratante, restrições de projeto, necessidades dos envolvidos com o

ciclo de desenvolvimento, requisitos de projeto do componente, especificações de projeto, funções do componente, recomendações de projeto e informações relativas ao próprio processo de desenvolvimento, como estratégias de projeto, objetivos e cronograma.

Conforme caracterizado no Capítulo 2, o projeto informacional vem sendo praticado de forma aleatória e inconsciente, à medida que o projetista procura entender o problema que lhe é proposto, sendo comum a desconsideração de informações importantes, o mau entendimento do problema e a pouca motivação para a execução da tarefa. A abordagem proposta nesta seção objetiva a organização desta etapa, a fim de evitar que o problema seja mal entendido, e que informações importantes sejam desconsideradas ou venham a ser de conhecimento do projetista em etapas avançadas do processo de desenvolvimento. Isto é comum no processo de desenvolvimento de componentes de plástico injetados, considerando a grande quantidade de parâmetros e a inter-relação entre as informações. Desta forma, busca-se reduzir o risco da necessidade de reprojeto ou da detecção da inviabilidade do projeto em etapas avançadas do processo de desenvolvimento, poupando recursos e tempo de trabalho. Um projeto mais adequado, racional e que realmente atenda as necessidades dos clientes é um outro objetivo que se espera atingir com a execução do projeto informacional tal como foi exposto nesta seção.

5.3.2 Etapa de Projeto Conceitual do Componente

O projeto conceitual é pouco praticado de uma forma sistemática para o caso de projeto de sistemas técnicos, e menos ainda para o caso de projeto de componentes. Até mesmo a literatura é escassa em orientações para a execução do projeto conceitual de componentes. Contudo, alguns autores pesquisados dão bastante ênfase a esta etapa de projeto para o caso de desenvolvimento de componentes de plástico injetados, conforme o levantamento do estado da arte feito no Capítulo 3. Percebe-se que alguns autores constituem suas propostas com forte influência do método da síntese funcional, enquanto outros sugerem a adoção de um sistema especialista para assistir a geração de conceitos e o modelamento da geometria do componente.

Como foi discutido no item 3.2.3, a adoção sistemática de métodos e técnicas tal como é sugerido para o projeto de sistemas técnicos, não parece muito adequada ao projeto de componentes. Quanto ao estágio de evolução de sistemas especialistas propostos para assistir à geração de conceitos de componentes de plástico injetados, ainda é bastante embrionário, sendo necessário ainda muitos estudos e evoluções até que possam ser empregados na prática.

Contudo, o projeto conceitual de componentes de plástico injetados não deve ser negligenciado, devendo ser tratado tal como requerem as suas necessidades. Grande parte das

características do componente é determinada com a obtenção do conceito, ou seja, basicamente com a determinação das formas principais do componente. A determinação do conceito do componente tem, portanto, forte impacto nas demais etapas do ciclo de vida, considerando a forte inter-relação entre função, forma e processo, conforme o que foi discutido no Capítulo 2. As decisões tomadas na fase de desenvolvimento influenciam bastante o comportamento do material plástico no momento da moldagem e da resposta às solicitações em serviço, qualidade do componente, custos e tempo de produção.

A etapa de projeto conceitual de componentes de plástico injetados requer, desta maneira, a consideração de um grande número de informações relacionadas ao ciclo de vida do componente, do emprego de procedimentos e ferramentas de auxílio. Busca-se assim, garantir o bom desempenho funcional do componente, além de evitar a geração de um conceito que implique em problemas nas etapas de fabricação do molde e processo de moldagem do componente. Objetivando a obtenção de um conceito, se possível inovador, que atenda às necessidades de projeto dentro do menor custo, que seja fácil de ser fabricado e montado, propõe-se como uma abordagem para a etapa de projeto conceitual do componente o procedimento e o envolvimento das informações representados na figura 5.7.

A geração dos conceitos de projeto parte da definição das necessidades e requisitos de projeto, e do conjunto de funções que deve satisfazer as necessidades dos clientes de projeto. Segundo a análise feita no item 3.2.3, o conceito do componente está mais relacionado com geometria (formas básicas) do que com princípios físicos (princípios básicos). Por conseguinte, os métodos e as técnicas ou ferramentas de projeto que objetivam dar um tratamento muito refinado à análise funcional e à geração de princípios de solução não parecem ser tão efetivos e eficazes no caso de projeto de componentes, quanto são os métodos e as técnicas mais voltadas ao tratamento das formas geométricas, como o projeto com base em *features* (*features* geométricas associadas a funções predefinidas), conforme foi observado também no estudo de caso discutido no Capítulo 4.

Alguns críticos do método de projeto com base em *features*, argumentam que o método induz à adoção de soluções preconcebidas e limitam a criatividade. Entretanto, cabe ao projetista utilizar-se da criatividade na busca de formas inovadoras. O emprego de *features* predefinidas é apenas um auxílio, da mesma forma que os catálogos de princípio de solução são recomendados em muitas propostas com base no método da síntese funcional. Está apenas num nível mais concreto, próprio para um nível de projeto mais detalhado, como é o projeto de componentes. A concepção isenta de formas, em um nível maior de abstração já foi, em tese, considerada no

princípio de solução adotado para o sistema técnico que envolve o componente. A abstração, o pensamento livre de formas e a visão do todo são adequados para que se obtenha a inovação em nível de projeto de sistema técnico, mas parecem pouco adequados em nível de projeto do componente. Estas observações também foram feitas ao longo da execução do estudo de caso.

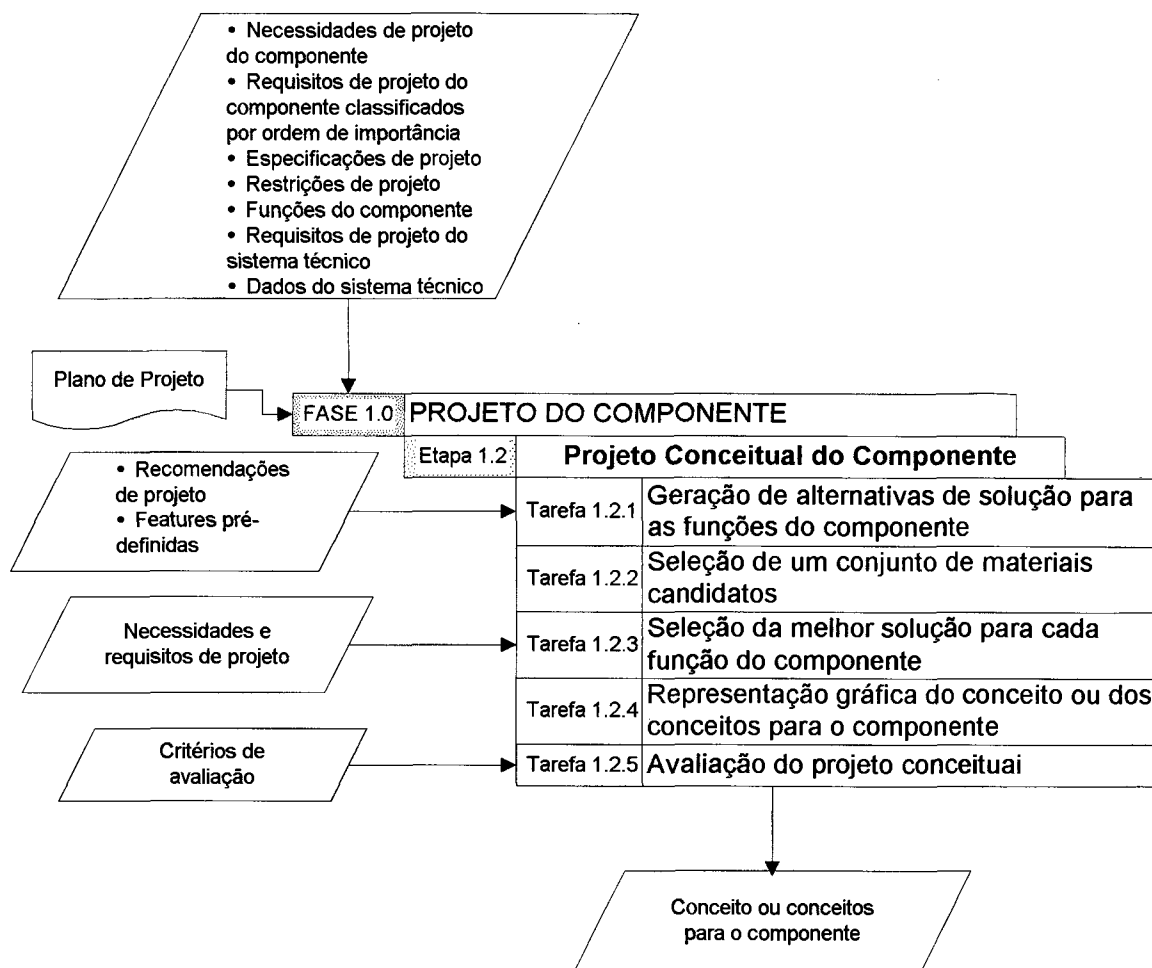


Figura 5.7 - Etapa de projeto conceitual do componente.

De qualquer modo, as funções a serem satisfeitas pelo componente devem ser identificadas, e alternativas de formas ou de princípios, devem ser pensadas para que as satisfaçam. O projetista não deve achar que o primeiro conceito que lhe vem à mente é o mais adequado, sem a exploração de soluções alternativas. A diferenciação do produto também tem sido explorada como um fator para o aumento da competitividade. Quando o objeto de projeto for um componente já existente em outro material diferente do plástico, o projetista deve procurar explorar formas inovadoras e não simplesmente fazer a mera substituição de material. O processo de moldagem por injeção permite uma liberdade de forma bastante grande, sendo muitas vezes o

processo indicado para a união de dois ou mais componentes com funções distintas. A integração de mais de uma função em um único componente, desde que as funções permaneçam independentes, quase sempre reduz a complexidade do sistema técnico (MAGRAB, 1997).

Algumas técnicas de estímulo à criatividade podem ser adotadas como o *brainstorming*. Claro que a experiência, quando não for traduzida em idéias fixas, ajuda bastante a geração de novos conceitos através de lembranças de situações de projeto e de analogias. Pode-se fazer uso de fontes de princípios de solução como livros, catálogos sistematizados de conceitos e estudo de outros componentes de plástico injetados. Estas informações devem ser armazenadas, assim como experiências de projeto, em sistemas ou base de dados que implementem modernas técnicas da tecnologia da informação para gravação e recuperação de dados.

Devido a forte inter-relação função, forma, material e processo, em alguns casos pode ser necessário a consideração de um grupo restrito de materiais candidatos já na etapa de projeto conceitual. Num estágio pouco concreto, como a etapa de projeto conceitual, sistemáticas de auxílio tais como a proposta por BEITER *et al.* (1997) descrita no Capítulo 2 podem ajudar nesta tarefa.

Propõe-se que o julgamento quanto ao melhor princípio de solução seja feito com base em critérios envolvendo os requisitos de projeto. Se uma adequada análise do ciclo de vida foi feita, os requisitos de projeto devem reunir preocupações com relação à fabricação, custos, qualidade, desempenho funcional, dentre outros. Esta recomendação torna explícita a importância da realização da etapa de projeto informacional de forma cuidadosa. O conceito deve ir ao encontro da satisfação das necessidades e requisitos de projeto. Em projetos muito complexos, com uma grande quantidade de requisitos de projeto, pode-se atribuir valores ou notas aos conceitos, conforme o grau de atendimento aos requisitos. Este foi o método utilizado no estudo de caso (ver Capítulo 4). O estabelecimento de critérios de avaliação reunindo os requisitos de projeto, tal como foi feito no estudo de caso descrito no Capítulo 4, ajudam bastante quando há dúvidas quanto ao melhor princípio de solução. Critérios econômicos são também bons parâmetros para identificar o melhor conceito, embora seja de difícil quantificação nesta etapa de projeto. Em projetos mais simples a discussão entre a equipe de projeto pode ser suficiente para a eleição da melhor solução, sem que fique dúvidas quanto à escolha. Dentro de uma filosofia de projeto para manufatura, é comum que um dos critérios de escolha recaia sobre a facilidade de fabricação. Neste caso, havendo dúvidas quanto ao melhor conceito, cálculos e análises pouco detalhados podem ser feitos ainda na etapa de projeto conceitual, ou, de outro modo, mais de um conceito podem ser levados à etapa de projeto preliminar, quando então a escolha final será feita com base

em análises mais refinadas.

O procedimento de identificar os requisitos de projeto e funções, buscar alternativas de solução e selecionar a melhor alternativa pode requerer o emprego de algum tempo adicional por parte da equipe de projeto. Entretanto, a consideração de mais de um conceito de projeto aumenta a probabilidade de que seja obtido um componente fácil de moldar e com bom desempenho funcional, sem a necessidade de ciclos de reprojeto, o que implicaria num dispêndio de tempo muito maior e mais oneroso, principalmente se exigir retrabalhos ou a fabricação de um novo molde.

O projeto conceitual é concluído quando um ou mais conceitos forem representados em suas formas básicas, de modo suficiente para que as atividades de projeto preliminar tenham início. Antes, entretanto, deve-se fazer uma avaliação dos resultados obtidos e da sistemática de projeto adotada. Uma característica dos projetistas bem sucedidos é que eles continuamente conferem e monitoram suas ações para identificar efeitos diretos e indiretos (PAHL e BEITZ, 1996). Alterações na etapa de projeto conceitual representam custos baixos e possuem grande influência sobre todo o ciclo de vida do componente.

O custo adicional devido a um mau projeto é tanto maior quanto mais tarde forem detectados os problemas. No caso de componentes injetados, esta afirmativa é ainda mais importante, uma vez que, caso os problemas sejam detectados após a fabricação do molde, a necessidade de alterações poderão representar um alto custo para a execução de modificações ou fabricação de um novo molde, além dos atrasos na produção do componente. Pode-se empregar como critério de avaliação da etapa de projeto conceitual, o nível de satisfação das necessidades e requisitos de projeto (que devem considerar as demais etapas do ciclo de desenvolvimento), os objetivos e metas da equipe (marcos de projeto) determinados no plano de projeto e que foram atingidos, o tempo empregado, estimativas de custo, dentre outros. É importante que os critérios de avaliação sejam quantificáveis, se possível, e de conhecimento de todos os integrantes da equipe de projeto. Estes critérios devem também ser estabelecidos no início do projeto, em função da estratégia de projeto adotada e das expectativas para o projeto. A constituição dos critérios de avaliação de projeto é particular para cada caso, não sendo sugerido neste texto nenhum modelo em especial. Conforme observou COMONATION (1999), as características particulares de cada organização não permitem que um modelo padrão de avaliação seja fixado, sendo que o desenvolvimento de um critério de avaliação específico, considerando as particularidades da empresa e do tipo de projeto, tende a ser sempre mais adequado. A própria equipe de projeto deve estabelecer a forma como as avaliações de projeto serão feitas, aumentando o seu

comprometimento (CLAUSING, 1994). Para a elaboração de critérios sistemáticos para a avaliação de projeto, recomenda-se que sejam consultadas as referências: CLAUSING (1994), COMONATION (1999), HAUSER e KATZ (1998), COOKE *et al.* (1999), SHANKAR e JANSSON (1991), BACK (1983), CROW (1998), O'DONNELL e DUFFY (1999) e BENDER *et al.* (1999), dentre outros.

5.3.3 Etapa de Projeto Preliminar do Componente

Na opinião de PAHL e BEITZ (1996), nem sempre é possível estabelecer um procedimento padrão para a etapa de projeto preliminar, devido ao fato de que muitas atividades devem ser executadas simultaneamente, algumas precisando ser repetidas em processos iterativos de criação, análise e decisão. Soma-se a isto as condições específicas de cada projeto.

Para EDER (1998), métodos tendem a ser mais úteis para o entendimento da tarefa de projeto e para a geração do conceito de projeto, quando é mais intenso o uso da criatividade. Segundo o autor, no caso do projeto preliminar é maior a necessidade por conhecimentos obtidos com a experiência, embora muitas inovações ainda possam surgir nesta etapa.

Contudo, é possível estabelecer uma abordagem mais ampla e genérica para a etapa de projeto preliminar, dentro do conjunto de típicas atividades desta etapa, conforme definido no item 3.2.2. Este é o propósito do presente texto, estabelecer um conjunto e uma seqüência de atividades padrões para o domínio específico do projeto preliminar de componentes de plástico injetados, sem entrar em detalhes e especificidades de cada situação de projeto. Desta forma, pretende-se caracterizar esta etapa, identificar o fluxo de informação envolvido e definir algumas boas práticas de projeto, procurando atingir os objetivos desta dissertação. A seqüência apresentada não significa que seja a única correta, é, todavia, uma referência. Na aplicação prática cabe à equipe de projeto estabelecer a melhor estratégia para a condução do projeto preliminar, subtraindo ou adicionando elementos ao procedimento, de acordo com as condições de projeto. Também não será recomendado o uso de ferramenta de auxílio ou técnica em particular, mas serão feitos comentários e sugestões quanto aos meios de execução das tarefas previstas.

Adotando a recomendação de RINGSTAD (1999) de identificar os parâmetros cruciais de projeto e focalizar as ações e decisões sobre eles, propõe-se como primeira tarefa da etapa de projeto preliminar de componentes de plástico injetados, o reconhecimento dos principais requisitos e especificações de projeto definidos na etapa de projeto informacional e, a partir deles, estabelecer as propriedades ou os parâmetros de maior relevância para o projeto. As ações de projeto devem então ser focalizadas sobre estes parâmetros, servindo também de base para a

tomada de decisão e para priorizar a resolução de problemas. Por exemplo, pode ser um procedimento inadequado pensar na redução do tempo do ciclo de injeção se os requisitos relacionados com a resistência mecânica ainda não foram atendidos. No caso de projeto de componentes de plástico moldados por injeção, muitas vezes os parâmetros de projeto cruciais estão relacionados com requisitos dimensionais, de desempenho e custo. Mas dependendo da situação de projeto, parâmetros relacionados à estética, à ergonomia ou à produção podem ser fundamentais. Para o devido tratamento dos parâmetros de projeto e análise da relação existente entre eles, são propostos pela literatura algumas técnicas, como o Projeto de Parâmetros (CLAUSING, 1994) e o Projeto Axiomático (MAGRAB, 1997; STEVENSON, 1996).

Estando claro quais são os parâmetros a serem priorizados, a segunda tarefa proposta para o projeto preliminar, conforme o procedimento proposto e ilustrado na figura 5.8, é a análise das interfaces componente-sistema técnico para que sejam verificadas em detalhes as restrições espaciais. Em alguns casos, somente os dados presentes na lista de restrições de projeto não são suficientes para esta análise, havendo a necessidade de observar em detalhes modelos físicos ou eletrônicos do sistema técnico. Esta análise mais detalhada das restrições espaciais servirão como subsídio para um maior detalhamento das formas definidas na etapa de projeto conceitual. O componente deve então ser modelado com maiores detalhes e dimensões básicas em sistema CAD 3D, dando origem ao que se denomina de desenho preliminar.

Na seqüência, deve-se executar a tarefa de seleção do material. Em função das necessidades e requisitos de projeto, a equipe de desenvolvimento já deve ter em mente um conjunto mais limitado de materiais candidatos, por exemplo, termoplástico semicristalino, ou os materiais pertencentes ao grupo das poliamidas. A seleção do material também deve considerar os parâmetros críticos para o projeto em questão, e fazer uso das recomendações técnicas e base de dados apresentadas na seção 2.4. Devido à forte inter-relação entre material e processo de fabricação, os parâmetros relacionados à produção devem ter também grande influência nesta decisão.

Com as formas preliminares e material, ou um conjunto de materiais limitado definido, propõe-se dar início à etapa de análise, envolvendo análise da integridade estrutural e de moldabilidade. A importância e o grau de necessidade destas atividades dependem do objeto de projeto e da equipe de desenvolvimento (MAFFIN, 1998). Contudo, em projetos mais complexos, com ênfase na confiabilidade e desempenho funcional, são atividades quase que obrigatórias, uma vez que mesmo técnicos experientes têm dificuldades para prever o comportamento do material que escoar no interior do molde (Stay *apud* KOIKE, 1995).

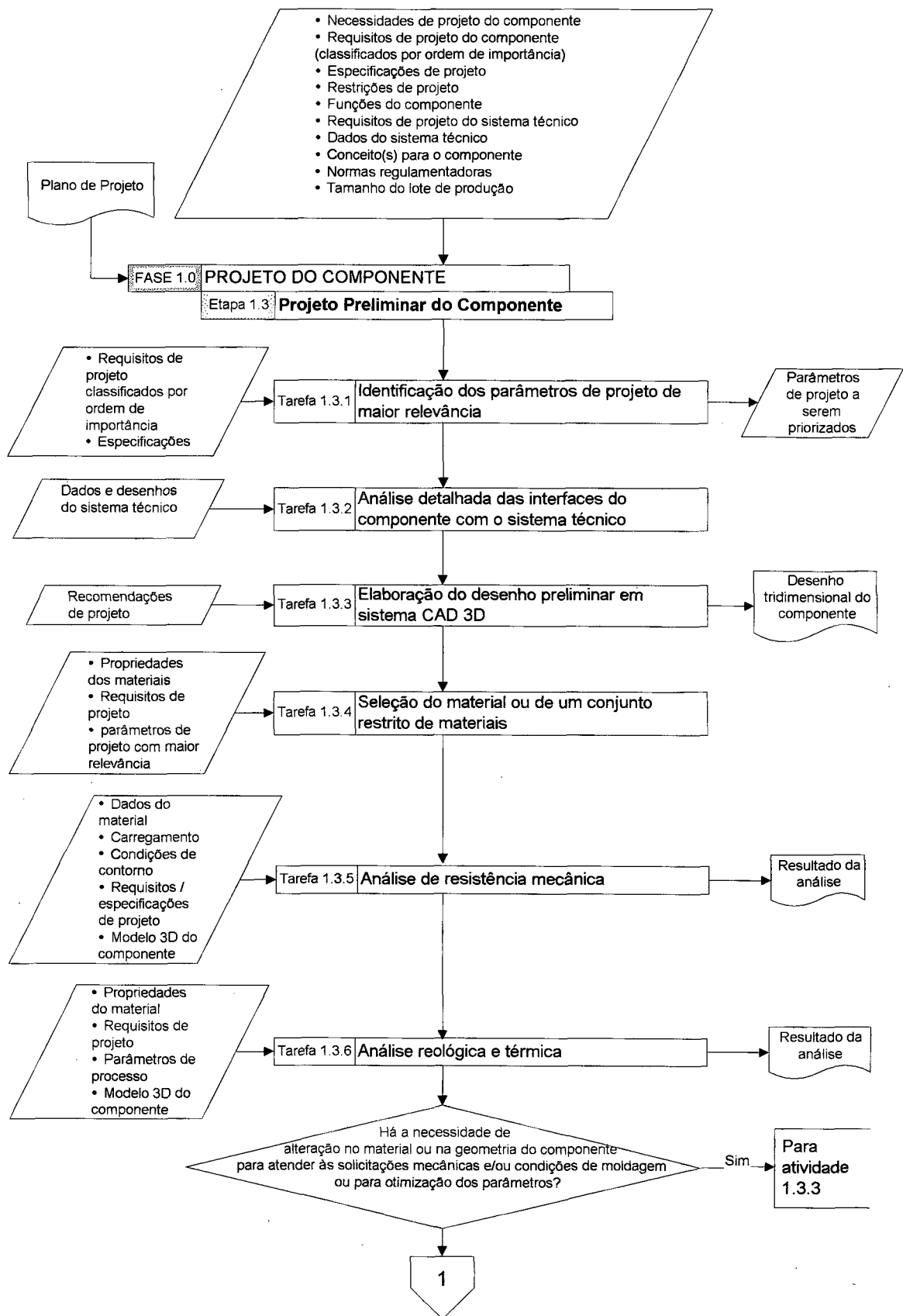


Figura 5.8 - Etapa de projeto preliminar de componentes de plástico injetados.

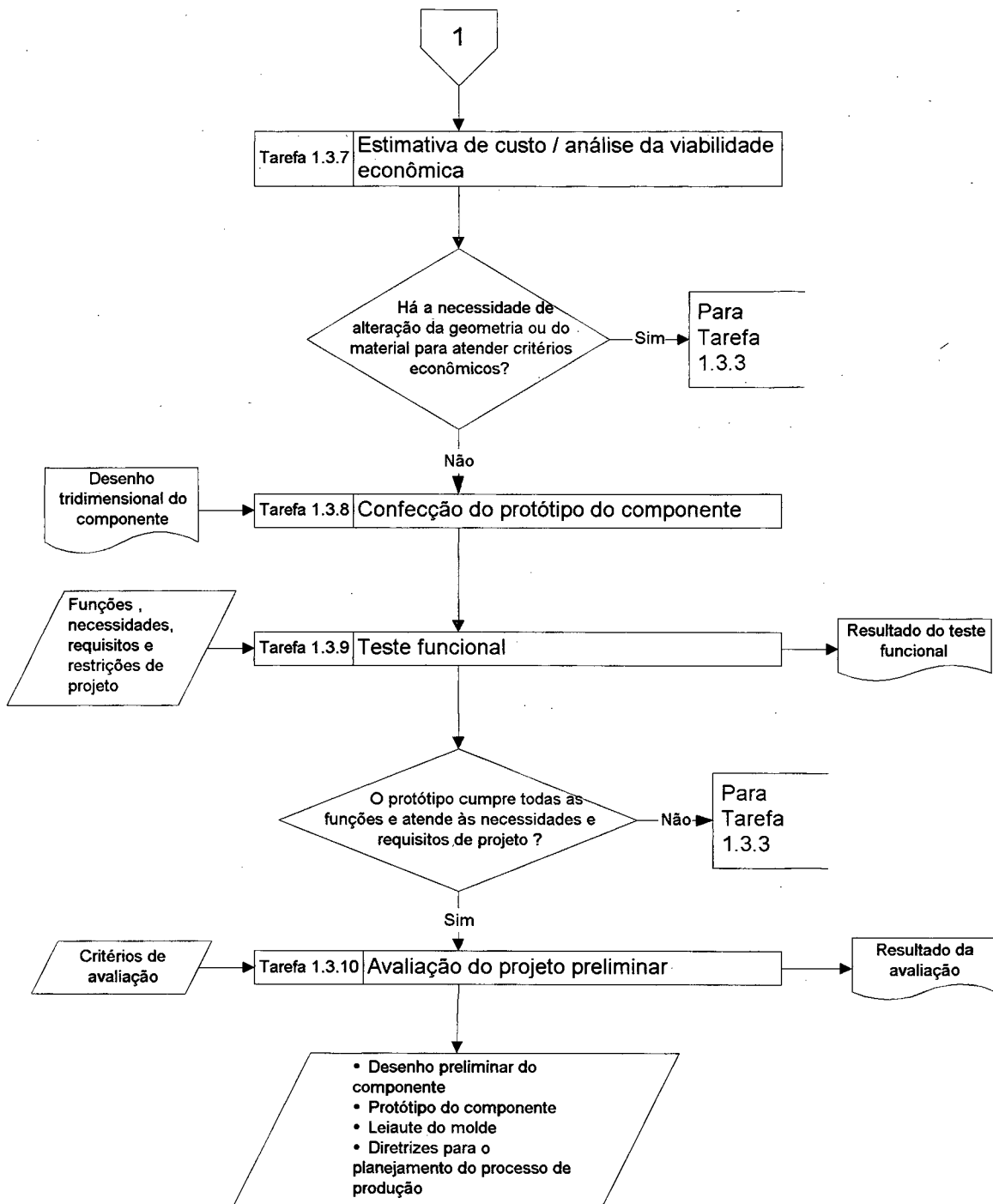


Figura 5.8 - Etapa de projeto preliminar de componentes de plástico injetados (continuação).

Simulações numéricas são ainda muito importantes para a redução no tempo de desenvolvimento e para ganhos de produtividade na produção, uma vez que reduzem o número de protótipos, antecipam problemas e podem reduzir o tempo de ciclo de injeção através da otimização dos parâmetros do processo de moldagem.

Os resultados obtidos com estas análises podem levar a modificações nas formas geométricas do componente e no material selecionado, exigindo novas análises, num processo iterativo até que todos os requisitos de projeto sejam satisfeitos. As técnicas adotadas para análise dependem, mais uma vez, da conveniência da equipe e da situação de projeto, podendo variar desde cálculos matemáticos mais simples e idealizados, até o emprego de sofisticados sistemas CAE. Uma discussão acerca das técnicas adequadas de análise do fluxo em cavidades de moldes de injeção é feita por PEIXOTO (1999). Algumas sugestões de sistemática para a tarefa de simulação e análise numérica são apresentadas na literatura (DIHLMANN, 1993; PEIXOTO, 1999). Considerando a especificidade da tarefa e os objetivos desta dissertação, estas sistemáticas não serão discutidas neste texto. Deve, entretanto, ficar claro a importância do emprego de uma estratégia para a tarefa de análise numérica de problemas de projetos, uma vez que não é uma tarefa trivial, estando suscetível a muitos equívocos de análise e aproximações pouco refinadas das reais condições de processo, exigindo também experiência e conhecimentos técnicos bem fundamentados.

Geometria, propriedades do material, carregamento e condições de contorno são informações suficientes para fazer uma análise de resistência mecânica. Deve-se observar o fenômeno de fluência, devido a vulnerabilidade de materiais plástico a este fenômeno, quando submetidos a um carregamento de longa duração.

Para a análise de moldabilidade em sistema CAE, são informações tipicamente necessárias, além da definição da geometria e material, o número e a localização do(s) ponto(s) de injeção, a temperatura de operação do molde, o tempo de injeção, a temperatura do material plástico fundido e, para análises mais detalhadas, o número de cavidades do molde. Embora sejam dados de entrada para a análise, estes parâmetros são corrigidos e definidos iterativamente, conforme os resultados obtidos com as análises. Observa-se que, para o cumprimento de uma das tarefas da etapa de projeto preliminar do componente, são necessárias informações relativas a aspectos construtivos do molde e a parâmetros de produção. A tarefa de análise da moldabilidade requer uma maior interação entre as fases de projeto do componente, projeto do molde e produção. Desta forma, pode-se definir simultaneamente detalhes relacionados com o componente e tomar as primeiras decisões quanto ao projeto do molde e ao processo de moldagem. Deve, portanto, haver uma forte interação entre os integrantes da equipe de desenvolvimento. A análise da moldabilidade é importante não só para evitar os problemas que normalmente ocorrem na produção, antecipando e anulando as causas, mas também para garantir a qualidade do componente e o atendimento às especificações de projeto, conforme ficou claro na discussão

sobre a inter-relação de parâmetros feita no Capítulo 2. Embora seja importante a cooperação entre os integrantes da equipe de desenvolvimento de componentes de plástico injetados desde a etapa de projeto informacional, é no momento da análise da moldabilidade do componente que deve ocorrer a maior inter-relação e cooperação técnica entre os envolvidos com o projeto do componente, projeto e fabricação do molde, e planejamento do processo de produção do componente. Isto também foi observado durante a execução do estudo de caso analisado no Capítulo 4.

A análise de moldabilidade em sistema CAE permite a verificação da ocorrência de fluxo desbalanceado, falhas no preenchimento, pontos de temperatura muito elevada, altas taxas de cisalhamento, gradientes de pressão demasiadamente grandes, empenamento, além de mapas de tensões cisalhantes, mapas de distribuição de temperatura, local de formação da linha de solda, ocorrência de ar aprisionado, dentre outros resultados. Fornece assim, subsídios para a avaliação do comportamento do fluxo de material fundido, defeitos potenciais (empenamento, rechupes, trincas), adequação da geometria da peça sob o critério da fácil fabricação, determinação de parâmetros de processo e decisão quanto a detalhes construtivos do molde.

Conforme mencionado anteriormente, em função das análises e das avaliações contra critérios técnicos e econômicos, geometria e material podem ser alterados como alternativa à variação dos parâmetros de processo, objetivando atender aos requisitos de projeto ou otimizar os parâmetros de projeto. Neste caso, uma nova iteração do processo de análise e avaliação deve ser realizada. O processo segue até que seja definida a geometria preliminar e feita a escolha definitiva do material do componente.

Em alguns casos de projeto, o término da etapa de projeto preliminar ocorre com a definição do desenho preliminar. Em outros casos, pode ser conveniente a confecção de um protótipo do componente para a realização de testes funcionais. Neste caso, pode ser útil a adoção de técnicas de prototipagem rápida, a fim de reduzir o tempo gasto com a fabricação do protótipo e reduzir o tempo de desenvolvimento como um todo. Deve-se ressaltar que os materiais utilizados na construção do protótipo por prototipagem rápida não são os mesmos indicados para a produção em série do componente, havendo, portanto, diferenças no comportamento das propriedades mecânicas, físicas e químicas.

Com o emprego de técnicas de prototipagem rápida para a fabricação de cavidades para moldes de injeção, pode-se inclusive construir um “protótipo” para o molde, e obter o protótipo do componente diretamente a partir da moldagem por injeção. Desta forma, obtém-se além do protótipo do componente confeccionado com o mesmo material indicado para a produção, a

possibilidade de avaliar alguns aspectos do projeto do molde e do processo de moldagem, com a ressalva de que, como o material utilizado para a fabricação do “molde experimental” não é o mesmo do molde de produção, as condições de troca de calor e acabamento superficial também serão diferentes. Este problema pode não existir no caso de pequenos lotes de produção, quando pode-se empregar moldes fabricados através de técnicas de prototipagem rápida inclusive para a produção em série do componente.

O protótipo do componente deve ser testado para a verificação quanto ao cumprimento das funções estabelecidas e ao atendimento às necessidades, requisitos e restrições de projeto. Caso não seja aprovado, o projeto preliminar precisa ser revisto, exigindo alterações no conceito, material e/ou geometria do componente.

Como resultado da etapa de projeto preliminar do componente tem-se um desenho preliminar pronto para ser detalhado, um protótipo testado e aprovado, definição do leiaute do molde e diretrizes para o projeto do processo de produção. A etapa de projeto preliminar do componente é, portanto, bastante iterativa, devido a natureza de suas atividades, e interativa, no momento em que também define parâmetros do projeto do molde e do processo de fabricação, caracterizando um ambiente típico para a adoção de uma abordagem dentro das propostas da engenharia simultânea.

Antes de dar início ao projeto detalhado do componente, é conveniente fazer uma segunda avaliação dos resultados obtidos, com foco no produto e na abordagem para o processo de desenvolvimento adotada. Com os resultados mais concretos obtidos durante a etapa de projeto preliminar, pode-se fazer uma avaliação mais segura e determinar alterações na estratégia e sistemática de projeto, ou nas características físicas do produto, ainda antes que tenha início a fabricação do molde. Assim como foi recomendado para a avaliação no final da etapa de projeto conceitual, deve-se empregar critérios de avaliação que sejam de conhecimento de todos os integrantes da equipe de projeto, quantificáveis e com base nos objetivos e metas da equipe, e no atendimento das necessidades e requisitos de projeto.

5.3.4 Etapa de Projeto Detalhado do Componente

O desenho preliminar passa a ser detalhado nesta etapa do processo de desenvolvimento, com o objetivo de produzir a documentação necessária para o detalhamento do projeto do molde, para a produção do componente e para a indicação de trabalhos posteriores à produção como a rebarbação e a montagem de algum item ou inserto em especial, caso seja necessário.

O detalhamento do desenho significa fixar as últimas tolerâncias, indicar o nível de

acabamento superficial, os ângulos de saída, o nível de qualidade requerido, dentre outras informações. Não são tarefas menos importantes, e ainda necessitam de um certo grau de interação com a produção. Por exemplo, faixas de tolerância muito estreitas ou nível de acabamento muito elevado pode não ser exequível ou elevar muito os custos de produção. Ou ainda, a falta de ângulos de saída torna a extração do componente muito mais difícil, podendo trazer ainda defeitos para a peça.

Os documentos para produção devem estar completos e sem margem para dúvidas. Com o emprego de sistemas CAD parametrizados e compatíveis com sistemas para geração de programas de comando numérico para a usinagem do molde, além de conexões via DNC para o transporte das informações de fabricação, a necessidade de gerar desenhos técnicos em duas dimensões tem sido cada vez menor. As empresas têm feito grandes esforços para a redução de documentação impressa em papel, em favor da transmissão de dados por meios eletrônicos, reduzindo o tempo e os desentendimentos com relação à interpretação de desenhos.

A etapa de projeto detalhado pode ser resumida nas seguintes tarefas: detalhamento do desenho preliminar, elaboração de documentos com informações complementares para o projeto do molde e para a produção, e verificação se todas as informações estão completas e livres de erros. A figura 5.9 resume as tarefas e respectivas informações propostas para estarem presentes na etapa de projeto detalhado do componente.

O resultado desta etapa são os arquivos eletrônicos contendo o desenho tridimensional detalhado do componente e/ou desenhos técnicos impressos, além da documentação adicional com informações para a produção. Estas informações são dados de entrada para o detalhamento do projeto do molde e para o departamento ou empresa responsável pela produção do componente.

Ao final do projeto detalhado, propõe-se que seja feita uma avaliação de todas as atividades realizadas até o momento. De uma forma geral, deve-se avaliar se todos os objetivos e metas foram atingidos. É também a última oportunidade de avaliar, antes da produção, se o componente realmente atende às necessidades e requisitos de projeto, principalmente com relação a custos, já que é um parâmetro difícil de ser estimado de forma mais precisa em etapas anteriores do processo de desenvolvimento.

Embora não deva ocorrer maiores modificações no projeto do componente, devido à interação entre os responsáveis pelo ciclo de desenvolvimento, o processo de desenvolvimento do componente injetado não termina com a aprovação do desenho detalhado do componente. Dentro da proposta desta dissertação, o processo segue com a etapa de detalhamento do projeto do

molde e do projeto ou planejamento do processo de produção.

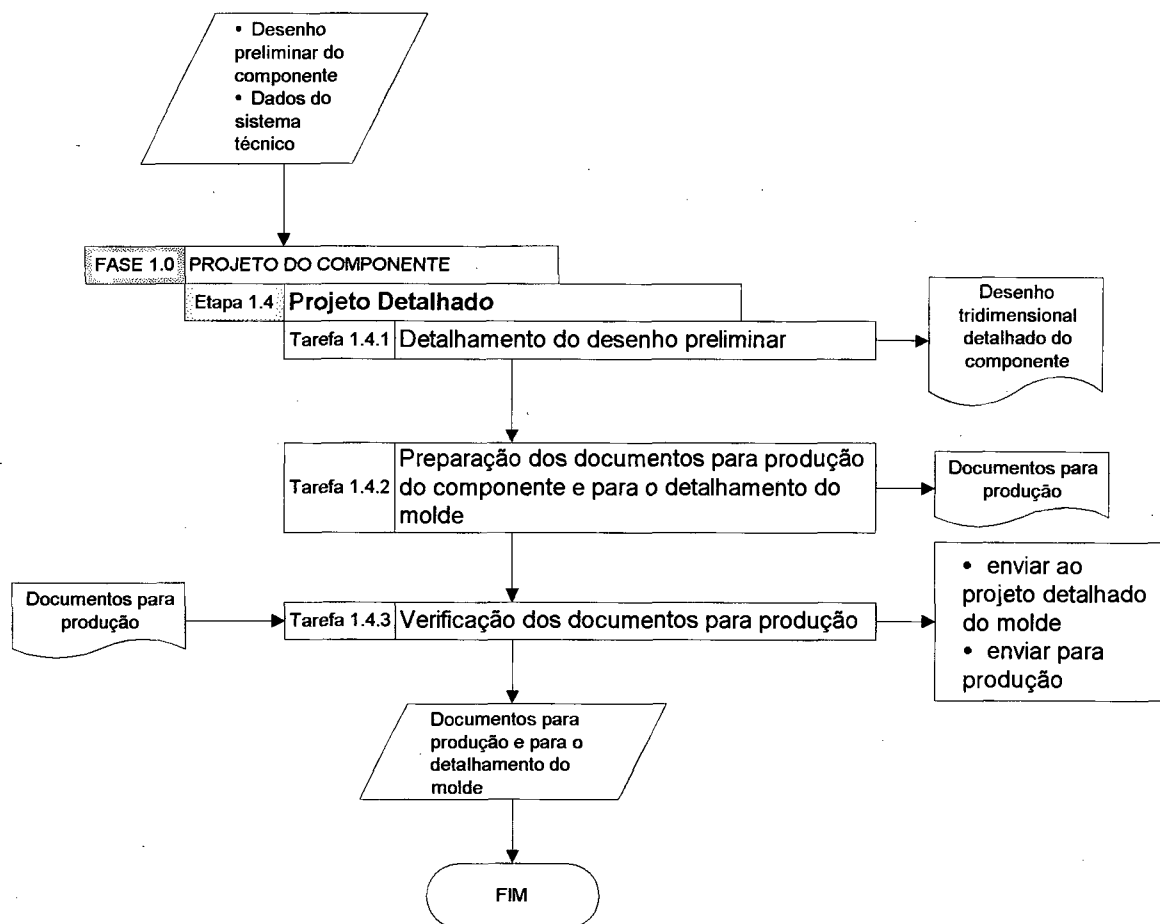


Figura 5.9 - Etapa de projeto detalhado de componentes de plástico injetados.

5.4 O PROJETO E FABRICAÇÃO DO MOLDE E O PLANEJAMENTO DO PROCESSO DE PRODUÇÃO: FASES EXECUTADAS EM PARALELO

A segmentação do setor da indústria da transformação do plástico através da moldagem por injeção e a abordagem de projeto seqüencial amplamente praticada, somadas à deficiente comunicação entre os envolvidos com o processo de desenvolvimento de componentes de plástico injetados, sobretudo entre as áreas de projeto do componente, projeto e fabricação do molde e planejamento do processo de moldagem, contribuem para ocorrência de longos ciclos de desenvolvimento, necessidades de ciclos de reprojeção, má qualidade do componente obtido, problemas e atrasos na produção, além da elevação dos custos de desenvolvimento e de produção.

Em resposta a estas dificuldades, a abordagem de projeto simultânea apresentada na seção 3.3, implica na formação de equipes multidisciplinares de desenvolvimento (reunidas em um mesmo local ou não) e na execução simultânea de atividades.

Esta seção procura discutir e apresentar uma proposta de integração entre as atividades de projeto do componente, projeto e fabricação do molde e do planejamento do processo de moldagem, dando seqüência às propostas feitas na seção 5.3 para a fase de projeto do componente de plástico injetado. Busca-se desta forma, apresentar uma sistemática para o projeto do molde, visando a sua integração ao projeto do componente, de modo que algumas atividades ocorram em paralelo, reduzindo-se assim o tempo do ciclo de desenvolvimento do componente e diminuindo os problemas de comunicação pela integração entre as duas atividades. Do mesmo modo, considerações são feitas com relação ao envolvimento do planejamento da produção nas atividades de projeto do componente e do molde.

5.4.1 Integração do Projeto do Molde ao Projeto do Componente

É muito difícil estabelecer uma sistemática para o projeto do molde, considerando as inter-relações que existem entre as atividades, exigindo que muitas das inúmeras decisões sejam tomadas de modo iterativo e simultâneo. Desta forma, fica difícil definir o momento exato e a seqüência que devem ser realizadas atividades, como a definição e localização dos pontos de injeção e a determinação da localização da linha de participação do molde. Muitas vezes, somente a situação de projeto, caracterizada por seus requisitos, restrições e parâmetros críticos, pode definir a melhor seqüência para a execução das atividades. A grosso modo existe, entretanto, algumas diretrizes para o seqüenciamento das atividades da fase de projeto de moldes para injeção que são apresentadas na literatura ou praticadas na indústria, conforme apresentado na seção 2.5.

Não se tem a pretensão de estabelecer um procedimento único e detalhado para o projeto de moldes, que seria classificado como o mais indicado. Em contrapartida, neste texto tem-se a preocupação em verificar a possibilidade da realização da fase de projeto e fabricação do molde em paralelo com a fase de projeto do componente. Ou seja, a questão que se coloca é como o projeto do molde pode ser inserido dentro do contexto do projeto do componente, de modo a abreviar o tempo necessário para a execução desta etapa e eliminar os ciclos de reprojeção. Para isso, com base em procedimentos padrões e no fluxo de informações entre as duas fases, tendo como fundamento as discussões apresentadas no Capítulo 2 e na seção 5.3, uma sistemática para a execução das principais atividades é proposta, visando a integração e a execução simultânea das atividades. Define-se desta maneira, atividades que possivelmente podem ser executadas em

paralelo, respeitando-se um conjunto de informações mínimas de entrada e saída para cada uma das atividades. Contudo, deve-se ressaltar que somente as conveniências das situações de cada projeto em particular, podem efetivamente determinar os paralelismos entre as atividades. A proposta constitui-se, desta forma, numa referência que pretende investigar e sugerir a integração entre as fases de projeto do componente e do projeto do molde, visando um procedimento para a redução do tempo do ciclo de desenvolvimento e melhorar a comunicação entre as áreas envolvidas no processo de desenvolvimento de componentes de plástico injetados. Desta maneira, as decisões tomadas com relação ao componente e ao molde consideram aspectos relacionados com os requisitos de projeto do componente e com o processo de moldagem, o que deve implicar na redução ou eliminação dos ciclos de reprojeção, conforme discutido no Capítulo 2.

Embora possa haver algumas variações nas formas construtivas, e até o emprego, em alguns casos, de complexos mecanismos para abertura do molde, pode-se classificar o projeto do molde dentro da categoria que alguns autores denominam de projeto de rotina, considerando a pouca variação que ocorre nos conceitos básicos de projeto. Pertencem a esta categoria aqueles projetos que têm base na execução de tarefas rotineiras comuns a maioria dos casos de projeto, com poucas variações. Além disso, para esta categoria de projeto, não é condição básica que seja um projeto inovador. Na opinião de PAHL e BEITZ (1996), os projetos pertencentes a esta categoria podem ser executados, em geral de forma bem sucedida, sem a orientação de uma sistemática mais formal, ainda que inconscientemente sejam seguidos certos padrões de procedimento com base na rotina de projeto. EDER (1998) afirma que somente quando o projetista depara-se com um problema novo, diferente de sua rotina de trabalho e experiência, procedimentos e métodos mais formais são necessários. Com estas afirmações em mente, procurar-se-á fazer uso das atividades básicas do projeto de moldes definidas no Capítulo 2, para tecer as considerações com relação à integração do projeto do molde ao projeto do componente, sem a preocupação de estabelecer uma sistemática rígida e detalhada.

Estas observações também indicam que é pouco conveniente tratar o projeto do molde como o projeto de um produto por inovação. Por conseguinte, não parece muito adequado falar em conceito do molde. Pode-se variar formas construtivas, ou fazer uso de conceitos pré estabelecidos, mas é muito raro durante a fase de projeto do molde pensar em um conceito inovador, já que não é este o objetivo de projeto. De forma mais específica, a preocupação maior está em prover uma ferramenta para tornar físico o projeto do componente.

Conforme a caracterização descrita na seção 2.5, moldes para injeção são classificados como equipamentos com finalidade especial (*special purpose equipment*), normalmente

projetados para a fabricação única e sob pedido específico. Como requisitos de projeto típicos desta classe de produtos tem-se tempo para entrega reduzido, confiabilidade e disponibilidade, facilidade e flexibilidade para que sejam feitas alterações para adaptação a um outro tipo de produto ou processo, e previsão de ajustes para aumentar o desempenho.

Assim sendo, a proposta de abordagem para o projeto do molde apresentada, difere na sua morfologia daquela comumente proposta para projeto de produtos industriais. Visando a conveniência com relação a integração entre o projeto do componente e o projeto do molde, propõe-se a divisão da fase de projeto do molde em três etapas: **o projeto de leiaute, o projeto preliminar e o projeto detalhado**. Desta forma, pode-se estabelecer melhor os paralelismos ou a simultaneidade entre as tarefas das etapas do projeto do componente e do projeto do molde, com base na equivalência do fluxo de informações de entrada e saída de cada uma das etapas.

5.4.2 Etapa de Projeto de Leiaute do Molde

A peça de plástico a ser injetada é o ponto de partida para o projeto do molde. O modelo geométrico da peça servirá como base para todas as etapas subseqüentes de projeto e fabricação do molde (Mills *apud* KOIKE, 1995). Desta forma, para que tenha início a etapa de projeto de leiaute do molde, é preciso que o desenho preliminar em sua proposta inicial esteja concluído. Na fase de projeto do componente, em seqüência às atividades de elaboração do desenho preliminar e da seleção do material, foram sugeridas as atividades de análise da resistência mecânica e da moldabilidade do componente. Conforme discutido no item 5.3.3, para a execução da tarefa de análise da moldabilidade é necessário que sejam tomadas as primeiras decisões com relação ao projeto do molde, sendo esta uma atividade que requer a integração de forma mais intensiva entre as fases de projeto do componente e projeto do molde e também do processo de produção.

Alguns autores sugerem a classificação dos componentes de um molde de injeção em dois grupos: os componentes funcionais (machos e fêmeas que formam a cavidade do molde) e os componentes de suporte ou de base (placas de fixação, placas de suporte, placas porta-extratores, pinos extratores, blocos espaçadores, bucha de injeção, anel de centragem, etc.) (ROSATO e ROSATO, 1987; MENGES e MOHREN, 1993; Altan *et al. apud* KOIKE, 1995).

Na execução da tarefa de análise detalhada da moldabilidade do componente, é necessário sobretudo a definição dos componentes funcionais do molde, principalmente com relação ao número e posição do(s) ponto(s) de injeção. A tarefa de análise da moldabilidade auxilia na decisão quanto ao número e leiaute das cavidades e ao projeto do sistema de alimentação.

Portanto, dentro de uma abordagem de projeto integrado, inevitavelmente o projeto do molde tem início no momento em que o componente é analisado sob o aspecto da moldabilidade. Sob esta premissa, propõe-se que o projeto de leiaute do molde seja definido de forma concomitante à atividade de análise da moldabilidade realizada na etapa de projeto preliminar do componente, envolvendo as atividades de definição do número e localização do(s) ponto(s) de injeção, estabelecimento da posição da linha de partição, definição do número e leiaute das cavidades e do sistema de alimentação (canais de alimentação e de distribuição). Ou seja, define-se no projeto de leiaute do molde, as características básicas dos componentes funcionais do molde, segundo a classificação proposta anteriormente. Para que esta simultaneidade entre as atividades ocorra, propõe-se que o projeto de leiaute do molde seja definido e conduzido conforme o conjunto de tarefas e informações apresentadas na figura 5.10.

Como dados de entrada para a execução da etapa de projeto de leiaute do molde tem-se a geometria preliminar do componente, propriedades do material a ser injetado, diretrizes para a seleção de parâmetros de produção (características da máquina injetora), necessidades, requisitos e restrições do projeto do componente, recomendações de projeto e catálogos de componentes padronizados para a construção do molde. Outras informações como custo meta e tamanho do lote de produção do componente também são importantes.

Como as características da máquina injetora impõem uma série de restrições ao projeto do molde, a seleção da máquina injetora deve anteceder ao início do projeto de leiaute do molde ou ser definida em paralelo, se houver maior flexibilidade quanto ao porte (tamanho e capacidade) das máquinas injetoras disponíveis. Ainda assim, a seleção da máquina injetora é considerada como uma atividade da fase de planejamento do processo de produção.

Ainda no projeto de leiaute do molde, propõe-se que sejam definidos aspectos construtivos básicos, como a opção pelo número de placas (duas ou três), sistema de canais quente ou frio, molde simples ou do tipo *stack mold*. Estas definições são feitas conforme a conveniência das decisões tomadas anteriormente com relação aos pontos de injeção, linha de partição e sistema de alimentação, seleção da máquina injetora, dentre outros fatores, e são base para que se defina uma estratégia de compra ou produção de componentes padrões tais como placas de fixação, blocos espaçadores e pinos guia. A antecipação do pedido de compra de componentes padrões pode representar um grande ganho de tempo no longo processo de projeto e fabricação do molde.

KOIKE (1995) afirma que os componentes de suporte podem ser projetados sem maiores problemas, visto que são peças de geometrias regulares e relativamente simples, além de serem padronizadas e já customizadas em alguns sistemas CAD. O gargalo do projeto do molde está no modelamento da geometria complexa dos componentes funcionais. Assim sendo, em acordo com a Teoria das Restrições, deve-se antecipar ao máximo esta atividade, utilizando-se o modelo geométrico já definido no projeto preliminar do componente, assim que este esteja disponível.

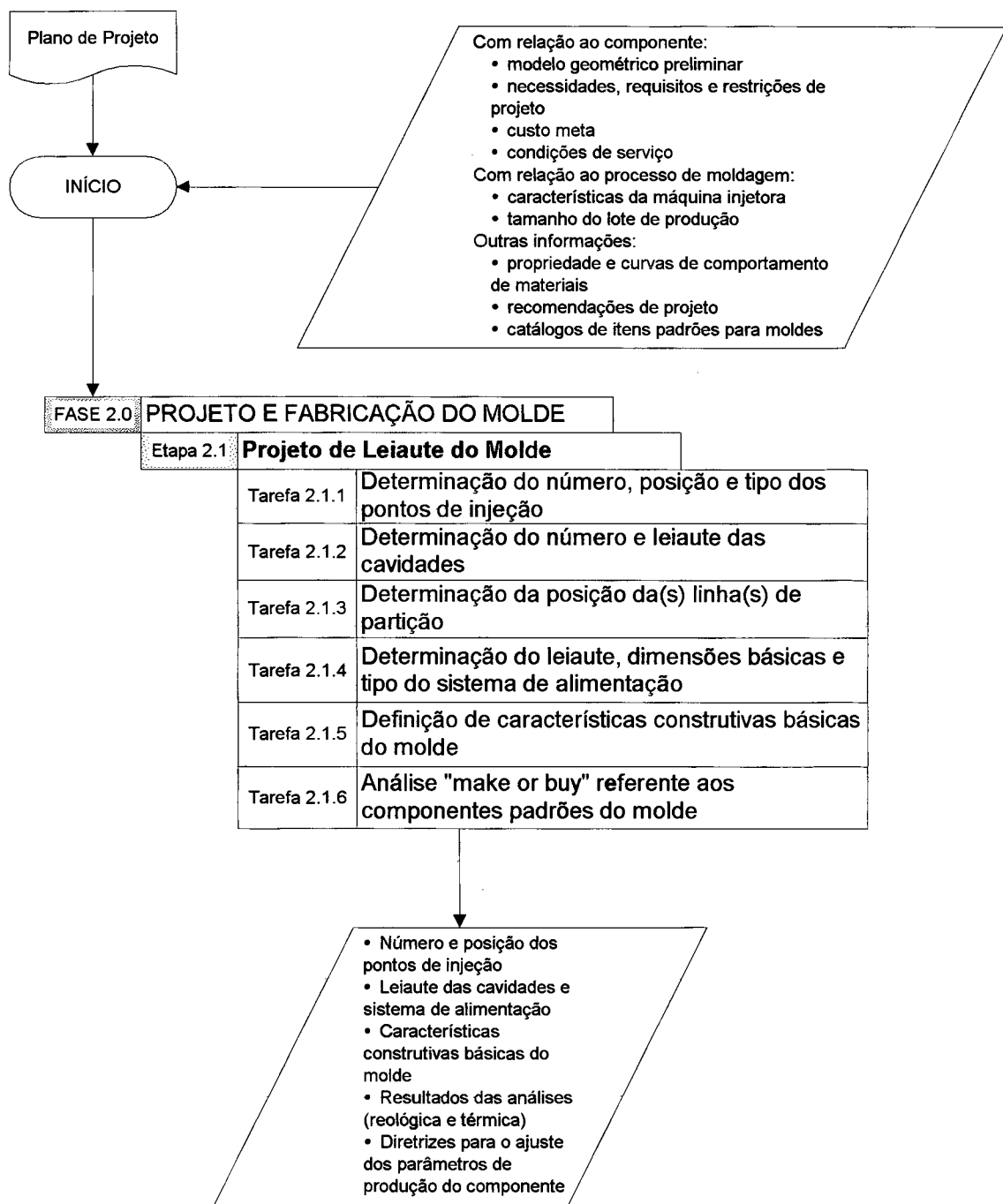


Figura 5.10 - Etapa de projeto de leiaute do molde.

Assim, com base nos resultados da análise obtidos através de um sistema CAE ou técnicas experimentais, conforme discutido no item 5.3.3, além de outros fatores como os requisitos de projeto do componente e o número do lote mínimo de produção do componente injetado, são tomadas as decisões que definem basicamente os componentes funcionais do molde. Como resultado desta etapa tem-se o leiaute das cavidades, o número e a localização do(s) ponto(s) de injeção, a localização da linha de partição, o leiaute e dimensionamento do sistema de alimentação (canais de alimentação e distribuição) além da tomada de decisão com relação a outros aspectos construtivos básicos do molde. Alguns resultados obtidos com a análise, como mapas de distribuição de temperatura e simulação da ocorrência de empenamento, serão úteis para o projeto do sistema de refrigeração na etapa de projeto preliminar do molde.

O processo de definição destas características do molde é realizado de forma iterativa, à medida que também são definidas as características geométricas e o material do componente a ser injetado, com base nos resultados da análise da moldabilidade. Com a conclusão do processo iterativo de análise e a fixação da geometria preliminar do componente, conclui-se também o projeto de leiaute do molde, podendo-se dar início à etapa de projeto preliminar do molde, ao mesmo tempo em que está sendo finalizado o projeto preliminar do componente.

5.4.3 Etapa de Projeto Preliminar do Molde

Uma vez definidas as características básica de leiaute do molde, pode-se dar início ao que se propõe denominar de projeto preliminar do molde. A etapa de projeto preliminar do molde pode ser conduzida, em suas análises, em paralelo com a etapa de projeto detalhado do componente, através da execução das atividades que não necessitam do desenho detalhado do componente, com base na última versão do desenho preliminar do componente.

Nesta etapa é definido inicialmente, conforme o procedimento ilustrado na figura 5.11 o dimensionamento exato das cavidades, já com as tolerâncias de usinagem, considerando sobretudo a contração sofrida pelo material plástico ao resfriar-se, além dos requisitos de tolerância do componente.

Em seqüência tem início o projeto do sistema de refrigeração do molde, através do estabelecimento do leiaute e do dimensionamento dos canais de refrigeração, em função da quantidade de material a ser resfriado, temperatura do molde, temperatura e difusividade térmica do material fundido e tempo requerido para o ciclo de injeção. Como subsídio para o projeto do sistema de refrigeração utiliza-se também os resultados das análises térmicas conduzidas durante o projeto de leiaute do molde. A determinação de regiões de concentração de temperatura

auxiliam na determinação do leiaute dos canais de refrigeração, procurando-se fazer com que o resfriamento seja uniforme em todas as regiões do componente, a fim de evitar contrações diferenciadas, empenamento e introdução de tensões residuais no componente. Novamente deve-se considerar os requisitos de qualidade do componente, aspectos funcionais e condições de serviço a que será submetido.

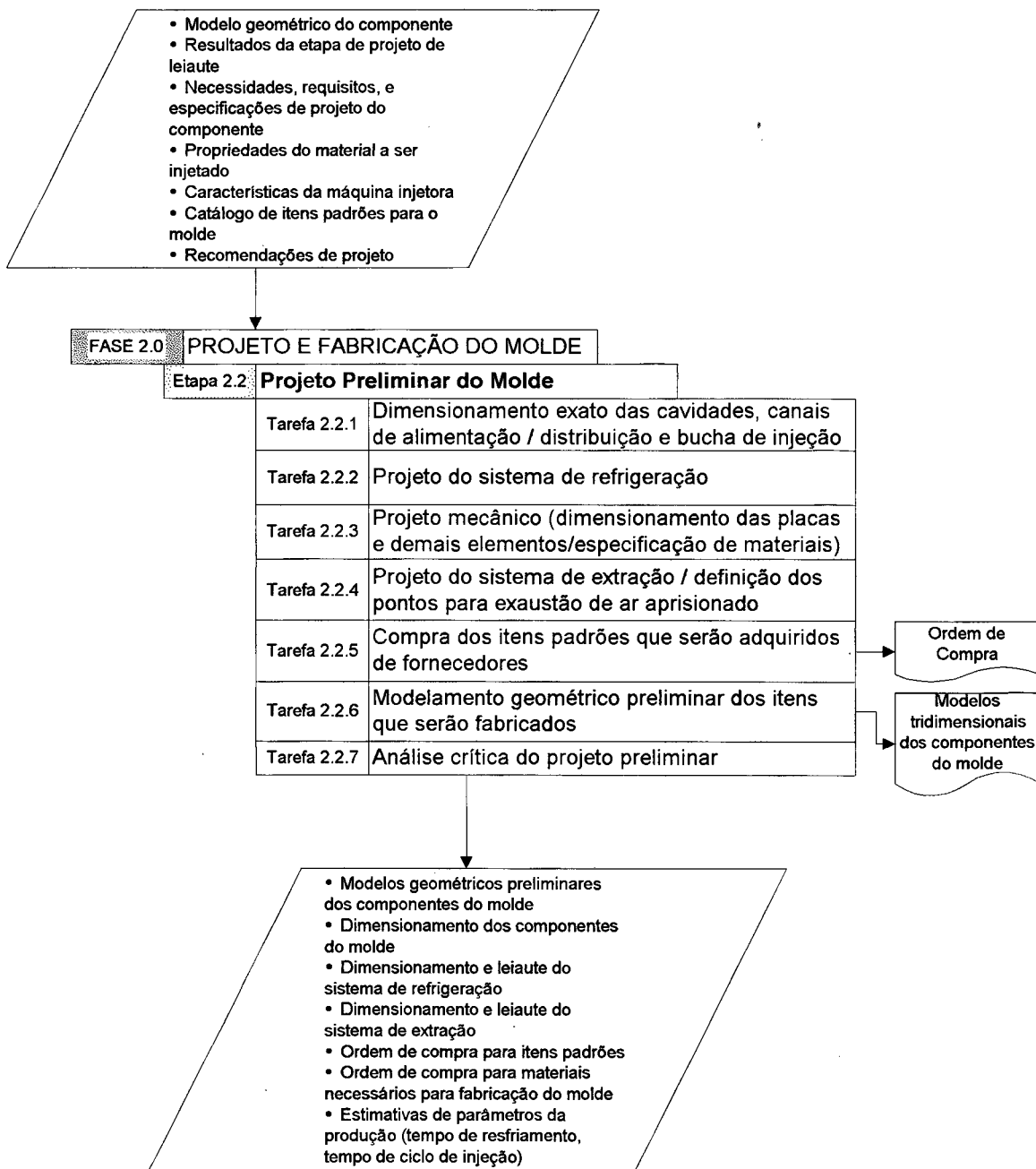


Figura 5.11 - Etapa de projeto preliminar do molde.

A atividade seguinte a ser realizada é o que se costuma denominar de projeto mecânico do molde, envolvendo o dimensionamento das placas e demais elementos da ferramenta, além da determinação dos materiais para a construção do molde.

O projeto segue com a determinação do sistema de extração e definição dos pontos de saída de ar aprisionado. O projeto do sistema de extração deve considerar os requisitos estéticos do componente, procurando identificar pontos de extração que não representem problemas para a aparência do componente. Em componentes de paredes finas, pode ser necessário a introdução de superfícies especiais no componente para atuação dos pinos de extração. O projeto inclui dimensionamento ou seleção de placas, extratores, blocos espaçadores, colunas, buchas, dentre outros elementos, e, muitas vezes, mecanismos especiais de movimentação para possibilitar a extração de peças com detalhes complexos. A localização dos pontos de saída de ar aprisionado pode ser determinada com o auxílio das simulações obtidas através da análise da moldagem. Se for conveniente, os próprios pinos de extração podem ser empregados como pontos para a saída do ar aprisionado.

Com estas definições pode-se tomar decisões mais seguras com relação aos itens padrões que deverão ser adquiridos de fornecedores. Devido à dependência com relação ao prazo de entrega, esta definição deve ser feita tão logo quanto possível, através da emissão da ordem de compra.

À medida que se obtém os resultados das análises, pode-se iniciar a atividade de modelamento dos componentes que integrarão o molde. O modelamento definitivo das cavidades somente é feito após a conclusão do desenho detalhado do componente a ser injetado.

Em linhas gerais, estas são as atividades que tipicamente pretende-se concluir no projeto preliminar do molde. São atividades complexas que requerem muitas análises e algumas iterações. Por fim deve-se fazer uma análise crítica das decisões tomadas nesta etapa, o que pode obrigar a revisão dos parâmetros definidos anteriormente. Esta análise deve ser cuidadosa, para que não sejam necessárias modificações no molde após sua fabricação, o que pode representar custos elevados e atrasos dentro de uma atividade considerada gargalo no processo de desenvolvimento de componentes moldados por injeção.

Como resultados desta etapa tem-se modelos geométricos preliminares dos componentes do molde, ordens de compra para itens padronizados, além de algumas estimativas para parâmetros de produção do componente, como temperatura do molde, tempo necessário para o resfriamento do moldado e tempo de ciclo de injeção.

5.4.4 Etapa de Projeto Detalhado do Molde

Aos desenhos preliminares dos componentes do molde, são adicionadas as últimas informações necessárias para a fabricação e montagem do molde. Os desenhos são completamente detalhados de modo a prover todas as informações sem margem para dúvidas. Detalhes do molde que ainda não foram modelados na etapa preliminar, como a modelagem detalhada dos pontos de injeção que foram especificados (submarino, em leque, em disco, em anel, etc.) conforme aspectos construtivos do molde, localização dos pontos, padrão de fluxo e requisitos de estética da peça.

Outras informações que são adicionadas aos desenhos preliminares dos componentes do molde são nível de acabamento superficial e tolerâncias dos elementos de montagem. Deve-se ter em mente também, a capacidade e limitações dos meios de fabricação disponíveis, bem como os custos associados. Nesta etapa são também elaborados os desenhos de conjunto ou de montagem do molde.

Concluído o detalhamento dos desenhos, o projeto deve ser mais uma vez analisado criticamente, principalmente com relação às dimensões, tolerâncias e procedimentos e compatibilidade entre os componentes do molde na montagem.

Por fim, deve-se fazer uma avaliação do projeto do molde como um todo, visando identificar qualquer erro e julgar se o resultado obtido realmente atende às necessidades e requisitos do projeto do componente, e se pode ser melhorado sob o ponto vista das necessidades do processo de moldagem por injeção. A etapa de projeto detalhado do molde, em conjunto com a etapa de fabricação, está representada na figura 5.12.

5.4.5 Etapa de Planejamento do Processo de Fabricação e Fabricação do Molde

Complementando as atividades da fase de projeto e fabricação do molde tem-se o planejamento do processo de fabricação e a fabricação do molde, conforme representado na figura 5.12. Estas duas atividades podem ocorrer de forma independente do projeto do componente, desde que sigam as informações definidas no projeto do molde, executado visando a facilidade da sua fabricação. São atividades bastante discutidas na literatura especializada, e a sua caracterização foge aos propósitos desta dissertação. AHRENS (1993) e KOIKE (1995) discutem em detalhes a integração entre as etapas de projeto e fabricação do molde.

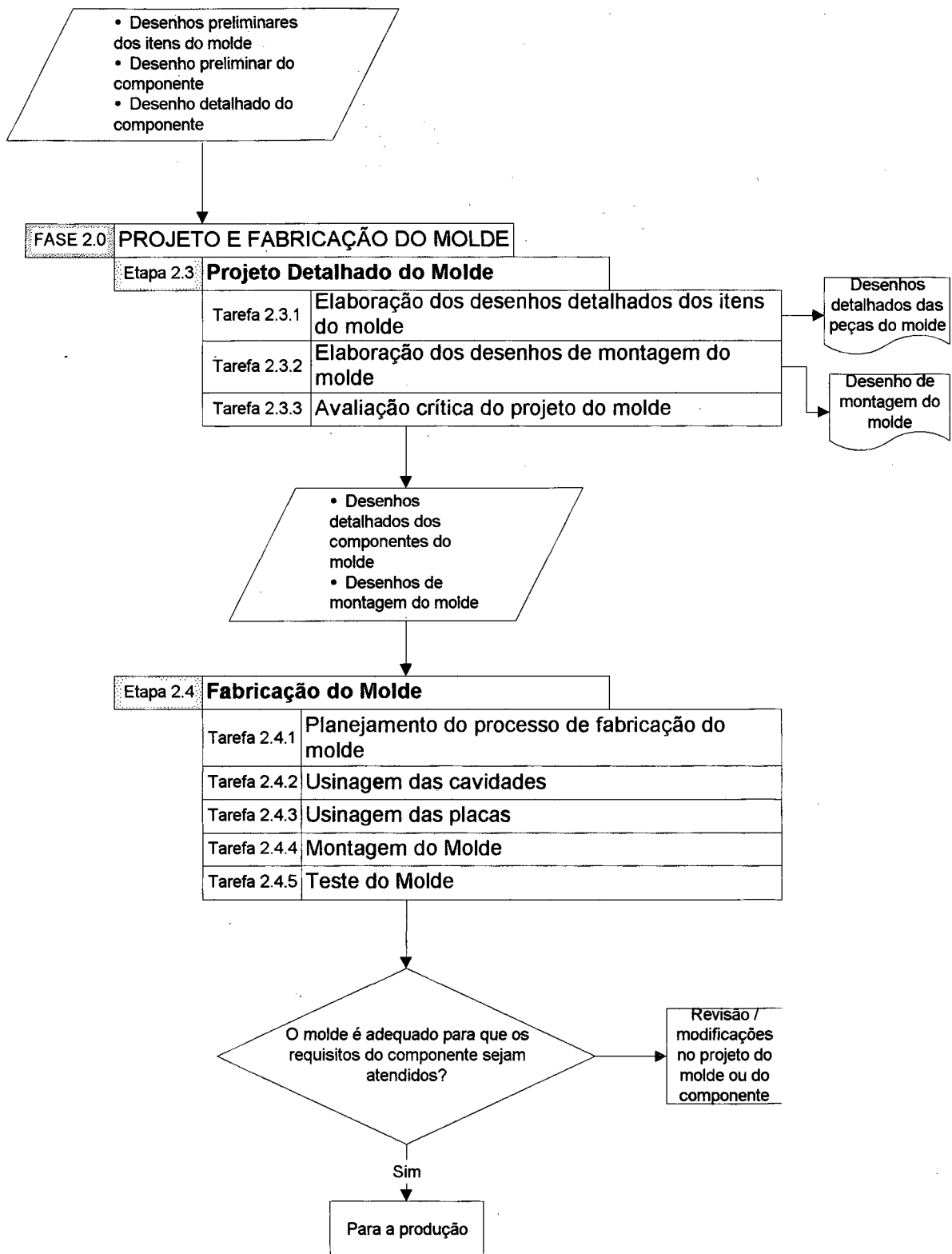


Figura 5.12 - Etapas de projeto detalhado do molde e de fabricação do molde.

Deve-se contudo, destacar que através de uma abordagem simultânea de desenvolvimento do componente e do molde, as principais etapas de planejamento do processo de fabricação e fabricação do molde têm início quase que imediatamente ao fim do projeto do componente, com a

vantagem de ser menor o risco de necessidade de reprojetado do componente devido a dificuldades na fabricação do molde. Algumas atividades podem inclusive ser antecipadas, como a compra de itens padrões do molde, conforme mencionado anteriormente. Desta forma reduz-se o tempo necessário para que seja obtido o molde, uma fase tida como gargalo no processo de desenvolvimento de componentes injetados.

Uma vez fabricado e montado, o molde deve ser testado e aprovado conforme a qualidade do componente obtido no teste de injeção. As probabilidades de sucesso são tanto maiores quanto mais intensiva for a cooperação entre a equipe projeto do componente e a equipe de projeto do molde. O molde aprovado pode ser levado à linha de produção para que seja fabricado o lote piloto do componente, atividade que finaliza o processo de desenvolvimento de componentes de plástico injetados.

5.4.6 Integração do Planejamento do Processo de Produção ao Projeto do Componente

Conforme afirmação feita na seção 2.6.1, o planejamento do processo de produção tem início, dentro de uma filosofia de projeto integrado, com a seleção da máquina injetora. Segundo o que foi apresentado na referida seção, numa situação de projeto onde há restrições impostas pelos equipamentos de produção disponíveis, o componente e o molde devem ser projetados em acordo com estas restrições. Já para o caso onde há maior liberdade de escolha, a seleção da máquina injetora pode ser feita assim que as principais características do componente e do molde forem estabelecidas. Idealmente, a determinação de características do componente e do molde e a seleção da máquina injetora deve ocorrer em paralelo, com o objetivo de otimizar recursos e parâmetros de projeto e processo envolvidos. Através do conhecimento da geometria básica do componente, além do nível de produção desejado, e requisitos de qualidade e de custos, pode-se definir de forma simultânea à etapa de projeto de leiaute do molde, a máquina injetora adequada. A atividade de simulação da moldagem é novamente a atividade mais indicada para que haja uma maior interação entre as equipes de projeto do componente, projeto do molde e planejamento do processo de produção. Muitos dos parâmetros de processo são definidos como um indicativo no momento da análise da moldabilidade do componente. São na verdade, dados de entrada necessários para que a simulação numérica seja realizada. De forma concomitante e interativa, são definidos parâmetros tais como número e leiaute de cavidades, tipo de molde, localização dos pontos de injeção, pressão de injeção, temperatura do molde, material a ser injetado, quantidade de material injetado por ciclo, força de fechamento e capacidade de plastificação da máquina

injetora. Sob esta ótica, a análise da moldabilidade do componente, a determinação das características básicas do molde e a seleção da máquina injetora, são atividades indissociáveis.

A consideração das características da máquina injetora e dos parâmetros de processo, bem como as influências sobre o componente injetado, contribui no sentido de evitar problemas durante a moldagem, atrasos na produção, ou mesmo a impossibilidade da injeção do componente devido a dificuldades em selecionar uma máquina adequada ou incompatibilidade com o molde. O envolvimento da equipe responsável pelo planejamento da produção na fase de projeto do componente melhora ainda, o relacionamento entre as equipes, evita problemas relacionados com o planejamento e controle da produção (PCP) devido à ocupação das linhas de produção, além de adiantar as atividades pertencentes à fase de planejamento da produção, reduzindo o ciclo de desenvolvimento do componente.

A compra de materiais também pode ser adiantada, evitando atrasos na produção devido a problemas com fornecedores.

Por estas considerações, a presente proposta considera o planejamento da produção como uma fase do processo de desenvolvimento do componente, visando a sua maior integração com as fases de projeto do componente e projeto do molde.

A figura 5.13 caracteriza em linhas gerais a etapa de planejamento do processo de produção.

As informações e avaliações feitas no momento da análise da moldabilidade do componente são utilizadas como diretrizes para o ajuste dos parâmetros de produção no momento da produção do lote piloto e aprovação do molde. Até a aprovação do lote piloto, a responsabilidade sobre os resultados é inteiramente da equipe multidisciplinar de desenvolvimento do componente. A aprovação do lote piloto e do molde constituem-se as últimas atividades do processo de desenvolvimento do componente de plástico injetado. Isto significa que pode-se dar início ao processo de produção do componente, garantindo-se que é muito menor a probabilidade de que ocorram problemas no momento da produção, quando a engenharia de produção assume as responsabilidades sobre a fabricação em série do componente.

A fim de não tornar esta discussão demasiadamente longa, fugindo dos propósitos e objetivos desta dissertação, não são feitas considerações quanto a questões de planejamento estratégico e controle da produção, como a elaboração do plano de produção e do plano-mestre de produção, programação da produção, seqüenciamento, ordens de compra e ordens de fabricação, definição de estratégias de produção, dentre outras questões que podem ser definidas no momento em que a equipe de planejamento da produção achar oportuno.

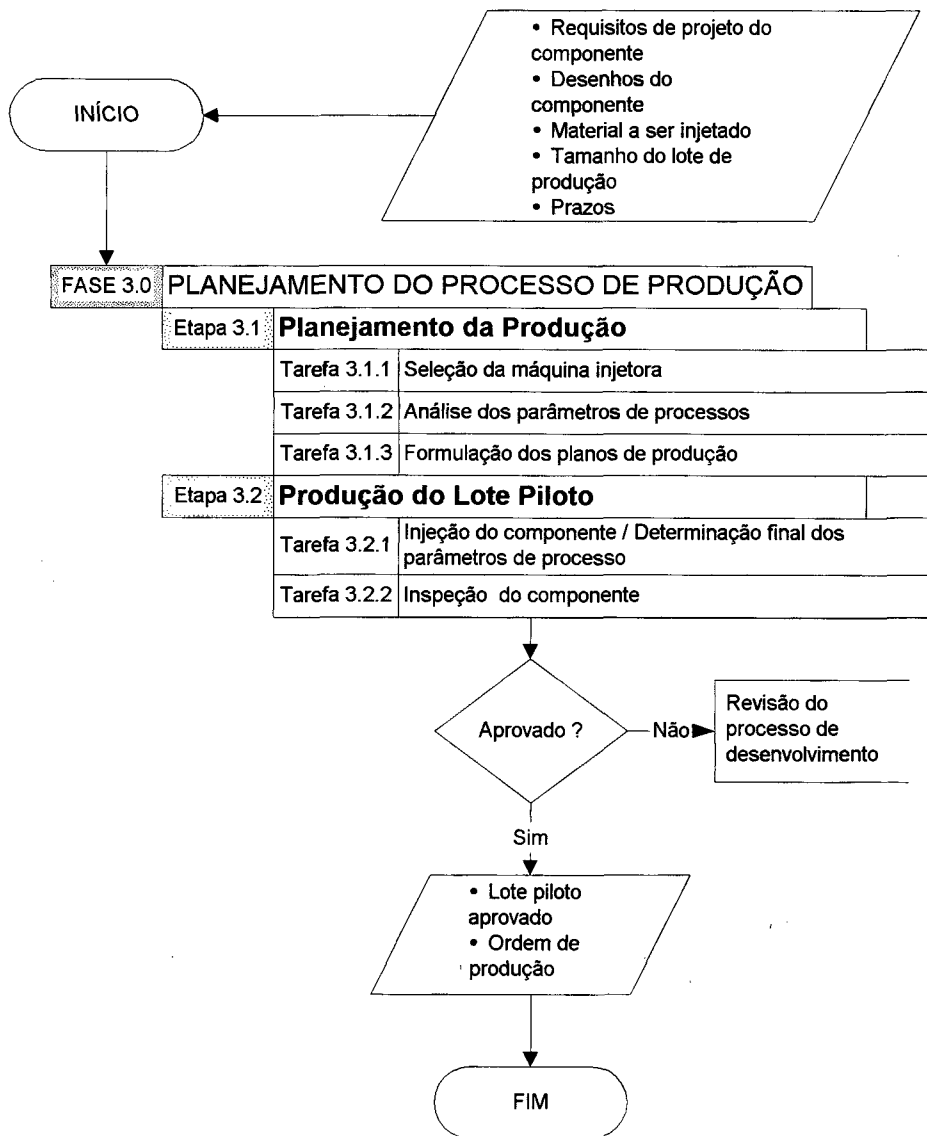


Figura 5.13 - Etapa de planejamento do processo de produção de componentes de plástico injetados.

A interação entre as equipes de projeto do componente, projeto do molde e planejamento da produção é mais fácil quando pretende-se produzir o componente na mesma unidade fabril onde o projeto é elaborado. No caso do envolvimento de uma empresa exclusivamente para a injeção do componente, as barreiras geográfica e culturais podem ocasionar problemas à integração das equipes.

5.5 SEQUENCIAMENTO E EXECUÇÃO SIMULTÂNEA DAS TAREFAS

Dentro dos preceitos da engenharia simultânea, de acordo com o que foi discutido na seção 3.3, na busca pela redução do tempo necessário para o desenvolvimento de um produto, é uma prática recomendada a execução simultânea das tarefas. Sob aspectos gerenciais, a simultaneidade entre as tarefas é estabelecida segundo critérios determinados pela estratégia de projeto adotada, necessidades de redução do tempo de desenvolvimento, limitações de recursos, nível de integração da equipe de projeto, dentre outros fatores. Com relação aos aspectos técnicos, a execução simultânea é limitada pela dependência entre as tarefas com relação às informações necessárias para que tenham início, ou seja, tem base no fluxo de entrada e saída das informações e resultados relacionados com cada uma das tarefas. Dentro destas limitações, o que se pretende com a execução simultânea das atividades é melhorar a comunicação e a cooperação entre os participantes do ciclo de desenvolvimento, e a redução do tempo total de desenvolvimento pela antecipação do início de atividades que tradicionalmente vêm sendo executadas de forma seqüencial. A figura 5.14 ilustra esta idéia para o processo de desenvolvimento de componentes de plástico injetados.

Os critérios relacionados aos aspectos gerenciais para o estabelecimento da simultaneidade entre as tarefas são específicos para cada situação de projeto, e, portanto, não estão sendo considerados nesta proposta. Cabe à equipe de projeto estabelecer o seqüenciamento e os paralelismos entre as atividades de sua conveniência, sobretudo entre as atividades mais específicas, em função da situação real de projeto. Técnicas de planejamento e seqüenciamento das atividades podem ajudar neste planejamento, tais como redes GERT (*Graphical Evaluation and Review Technique*), PERT (*Program Evaluation and Review Technique*) e CPM (*Critical Path Method*). Estas técnicas são tradicionais, sendo inclusive muito utilizadas no planejamento da produção.

Mais recentemente, um grupo de pesquisadores ligado ao MIT (*Massachusetts Institute of Technology*) tem trabalhado em novos conceitos para o planejamento e seqüenciamento de atividades, utilizando a técnica denominada *Dependency Structure Matrix* ou *Design Structure Matrix* (DSM). O DSM consiste na representação matricial das dependências existentes entre as tarefas, de acordo com o fluxo de informações, servindo como uma ferramenta de análise para que sejam identificadas oportunidades de melhorias com relação ao seqüenciamento das tarefas e redução do tempo do ciclo de desenvolvimento. Em uma matriz quadrada as tarefas são listadas nas linhas e colunas, numa mesma ordem. Identifica-se aquelas tarefas que possuem algum relacionamento através de um sinal (X) na célula da matriz que pertence simultaneamente à linha e

à coluna correspondentes as duas tarefas que estão sendo relacionadas, conforme ilustrado na figura 5.15.

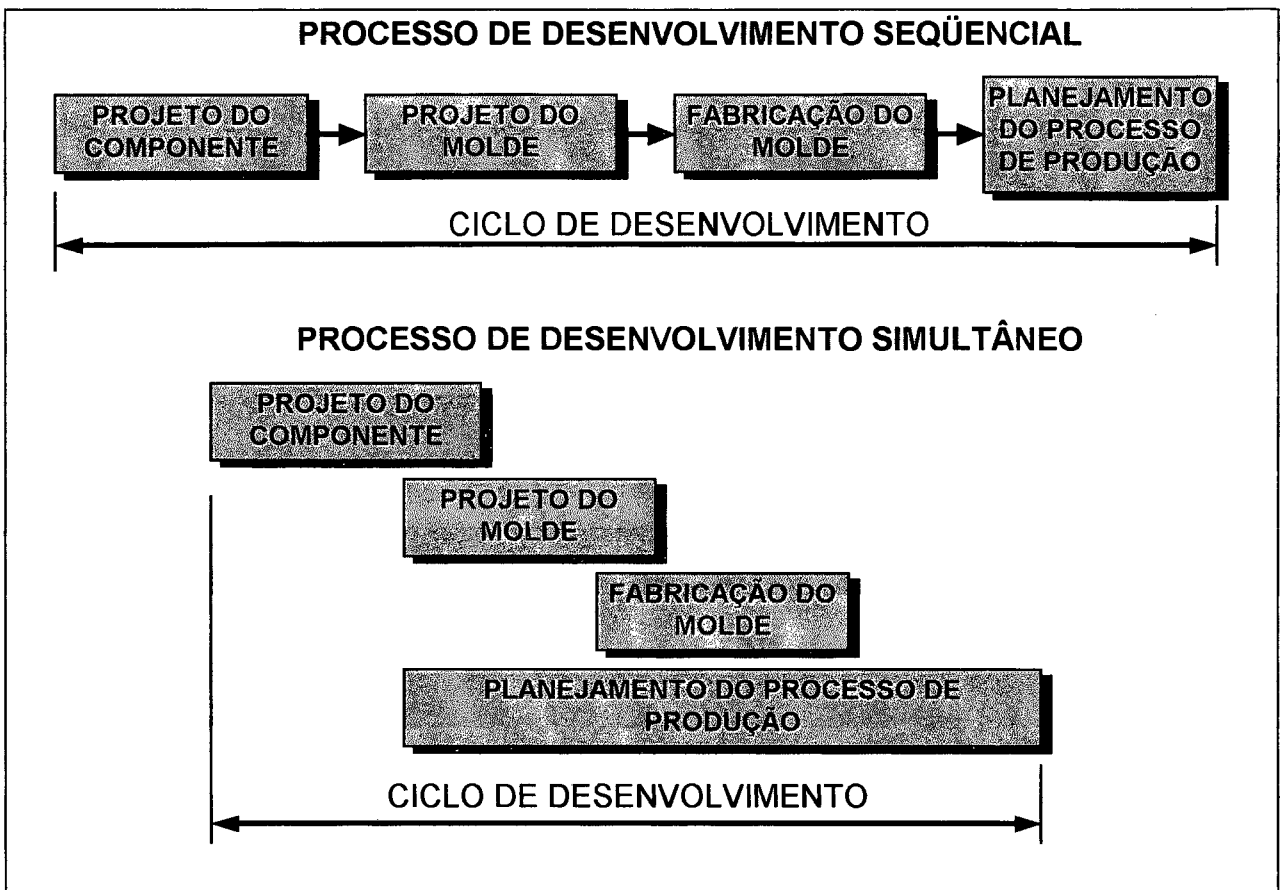


Figura 5.14 - Esquema comparativo entre o processo de desenvolvimento seqüencial e o processo de desenvolvimento simultâneo de componentes de plástico injetados.

A leitura de uma coluna indica quais tarefas recebem informações da tarefa correspondente à coluna, enquanto que a leitura de uma linha indica quais tarefas fornecem informações para que a tarefa correspondente à linha possa ser executada. No exemplo da figura 5.15, a tarefa C necessita de informações produzidas pelas tarefas A e B, e fornece informações necessárias para a execução da tarefa E. Uma marca acima da diagonal principal da matriz indica uma relação de precedência, ou seja, uma tarefa precedente depende dos resultados de uma tarefa que ocorre posteriormente. A tarefa B depende dos resultados da tarefa D para ser concluída. Neste caso, devem ocorrer ciclos iterativos, sendo que a tarefa B precisa ser reconsiderada em função dos resultados alcançados com a tarefa D. Este tipo de dependência pode criar uma reação em cadeia, levando a outros ciclos iterativos envolvendo outras tarefas (em andamento ou supostamente concluídas). Sabe-se que iterações de projeto, ou ciclos de reprojeto, guardam uma relação direta com aumento nos custos e tempo de duração do processo de desenvolvimento.

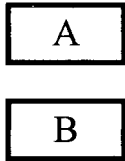
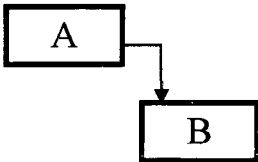
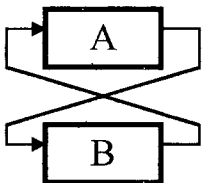
Deve-se, portanto, evitar este tipo de dependência, que pode levar a um aumento significativo no tempo do ciclo de desenvolvimento.

	A	B	C	D	E	F
TAREFA A	A					
TAREFA B	X	B		X		
TAREFA C	X	X	C			
TAREFA D				D	X	
TAREFA E	X		X	X	E	
TAREFA F					X	F

Figura 5.15 - Matriz DSM.

As marcas (X) na matriz indicam, portanto, a existência e a direção do fluxo de informações, determinando o seqüenciamento possível entre as tarefas de um processo. Com a matriz DSM pode-se representar três tipos de relações entre as atividades: execução paralela, execução seqüencial e execução acoplada. A tabela 5.1 especifica estes três tipos de relação, fazendo um comparativo entre a representação em um gráfico de blocos e a representação na matriz DSM.

Tabela 5.1 - Possíveis relações entre atividades representadas em uma matriz DSM.

Tipo de Relação entre as Atividades	Representação em Blocos	Representação na Matriz DSM	Descrição									
EXECUÇÃO PARALELA		<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th></th> <th>A</th> <th>B</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <th>A</th> <td>A</td> <td></td> </tr> <tr> <th>B</th> <td></td> <td>B</td> </tr> </tbody> </table>		A	B	A	A		B		B	As tarefas são realizadas de forma independente. Não há fluxo de informações entre elas.
	A	B										
A	A											
B		B										
EXECUÇÃO SEQÜENCIAL		<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th></th> <th>A</th> <th>B</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <th>A</th> <td>A</td> <td></td> </tr> <tr> <th>B</th> <td>X</td> <td>B</td> </tr> </tbody> </table>		A	B	A	A		B	X	B	A tarefa posterior necessita de informações produzidas pela tarefa precedente para que tenha início.
	A	B										
A	A											
B	X	B										
EXECUÇÃO ACOPLADA		<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th></th> <th>A</th> <th>B</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <th>A</th> <td>A</td> <td>X</td> </tr> <tr> <th>B</th> <td>X</td> <td>B</td> </tr> </tbody> </table>		A	B	A	A	X	B	X	B	Num processo iterativo, existe uma dependência mútua entre as tarefas.
	A	B										
A	A	X										
B	X	B										

Atividades caracterizadas por serem de execução acoplada podem ser executadas de forma seqüencial ou simultânea. Se forem executadas de forma seqüencial, a tarefa precedente terá que ser revista em função dos resultados obtidos com a tarefa posterior, o que implica em retrabalhos e ciclos de reprojeto. Se forem executadas de forma simultânea, devem ocorrer ciclos iterativos de troca de informações, aumentando a complexidade do fluxo informacional, mas diminuindo os ciclos de reprojeto. Algumas propostas (SMITH, 1997; BROWSING, 1999) visam implementar computacionalmente a matriz DSM, formulando algoritmos de controle de arranjos de seqüência de tarefas, a fim de reduzir o tempo total do ciclo de desenvolvimento.

Ao longo das explicações feitas para cada uma das fases e etapas do processo de desenvolvimento de componentes de plástico injetados (seções 5.3 e 5.4), já foi estabelecido, de certa forma, a seqüência e os paralelismos existentes entre as macro tarefas pertencentes a cada uma das etapas, em função do fluxo de informações e resultados relacionados. O processo de desenvolvimento é tratado desta maneira, como um processo de transformação de informações. Cada uma das tarefas recebe informações de atividades previamente ou simultaneamente elaboradas, tendo como objetivo a geração de novas informações úteis para tarefas subseqüentes. Os fluxogramas apresentados nas seções 5.3 e 5.4 fornecem uma visão geral do conjunto de tarefas e informações envolvidas. Agora pretende-se representar de forma mais clara a opção pela execução seqüencial ou simultânea das atividades, através de uma matriz DSM e de um gráfico de Gantt genérico e qualitativo, onde a principal preocupação é ilustrar a dependência e a simultaneidade entre as atividades, conforme a viabilidade determinada pelo fluxo de informação discutida nas seções 5.3 e 5.4. Pretende-se assim, tecer algumas análises e estabelecer um modelo de sugestão para o planejamento do seqüenciamento entre as atividades do processo de desenvolvimento de componentes de plástico injetados.

A matriz DSM ilustrada na figura 5.16 representa as relações existentes entre as tarefas das etapas do processo de desenvolvimento de componentes de plástico moldados por injeção, com base no fluxo de informações entre as atividades e conforme o modelo apresentado nas seções 5.3 e 5.4.

Tarefas acopladas representam oportunidade de melhorias no processo de desenvolvimento, principalmente se este tipo de relação ocorrer entre atividades distantes no seqüenciamento padrão das tarefas (relações no triângulo superior da matriz DSM e longe da diagonal principal). Com a análise da matriz DSM representada na figura 5.16, pode-se observar o seguinte:

1) nas etapas de projeto preliminar do componente (área cinza claro na matriz) e de projeto de

leiaute do molde (área cinza escuro na matriz) existem tarefas acopladas, ou seja, existem tarefas que são mutuamente dependentes;

- 2) existem atividades com execução acoplada que pertencem a etapas distintas;
- 3) as seguintes tarefas da etapa de projeto preliminar do componente são acopladas:
 - seleção do material / análise da integridade estrutural / análise da moldabilidade;
 - desenho preliminar / análise da integridade estrutural / análise da moldabilidade.
- 4) as tarefas acopladas pertencentes a etapas distintas envolvem o projeto preliminar do componente e projeto de leiaute do molde, sendo elas: análise da moldabilidade / número e posição dos pontos de injeção / número e posição das cavidades.
- 5) as tarefas acopladas pertencentes à etapa de projeto de leiaute do molde são:
 - número e posição dos pontos de injeção / número e posição das cavidades / determinação da posição da linha de partição;
 - determinação da linha de partição / leiaute do sistema de alimentação / determinação das características construtivas do molde.
- 6) a etapa de projeto de leiaute do molde pode ser executada de forma independente (paralela) da etapa de projeto detalhado do componente.
- 7) existem ainda outras dependências, ainda que não acopladas, entre as tarefas das etapas de projeto preliminar do componente e projeto de leiaute do molde.

Conforme comentado anteriormente, tarefas acopladas implicam em ciclos iterativos de projeto, o que determina retrabalhos, ou interações (troca de informações), aumentando a complexidade do fluxo de informações. Tem-se o primeiro caso através da execução sequencial das tarefas, e o segundo caso com a execução simultânea das tarefas. Com o intuito de reduzir o tempo do ciclo de projeto, prefere-se a segunda opção (obtendo-se a redução dos ciclos de reprojeto e revisões de atividades já concluídas). Na prática, as tarefas acopladas pertencentes a uma mesma etapa (itens 1 e 3) são conduzidas interativamente, já que são executadas por um mesmo projetista ou equipe de projeto. As tarefas acopladas pertencentes a etapas distintas (item 1), entretanto, são tradicionalmente conduzidas de forma sequencial, segundo a caracterização feita no Capítulo 2. Isto devido às barreiras departamentais e organizacionais, o que tem levado à ciclos de reprojeto, longos ciclos de desenvolvimento, tempos de espera, renegociações de contratos, desentendimentos, atrasos na produção, dentre outros problemas conforme a caracterização do processo tradicional de desenvolvimento descrito no Capítulo 2.

A proposta de desenvolvimento integrado de componentes de plástico injetados, com a consideração do ciclo de desenvolvimento conforme definido na seção 5.2, visa eliminar estes

problemas, reduzindo o tempo do ciclo de desenvolvimento, melhorando a comunicação entre os representantes das áreas do conhecimento envolvidas e, por conseguinte, a qualidade do produto. Para isto, está-se propondo a execução simultânea das atividades, sobretudo àquelas pertencentes às etapas de projeto preliminar do componente e de projeto de leiaute do molde. Neste sentido, também é recomendado o repasse de resultados intermediários a etapas que possuem dependência com etapas precedentes, antecipando o seu início, desde que pertençam ao caminho crítico. Com esta análise, a simultaneidade proposta para as tarefas do processo de desenvolvimento de componentes de plástico injetados é melhor representada através de um gráfico de Gantt.

O gráfico de Gantt apresentado na figura 5.17, é de natureza qualitativa e presta-se como uma proposta de referência, além de ilustrar as discussões feitas anteriormente dentro deste capítulo. O gráfico ilustra também o grau de precedência entre as macro tarefas, ou seja, quais tarefas devem ser encerradas antes que outra tenha início, sob o ponto de vista da viabilidade técnica (fluxo de informações e resultados). A proporção de tempo que existe entre as etapas foi, em parte, estimada com base no estudo de caso apresentado no Capítulo 4.

Através do gráfico de Gantt tem-se a representação gráfica da redução do tempo total do ciclo de desenvolvimento pela sobreposição ou paralelismos entre as tarefas. Há que se observar ainda, a vantagem obtida ao adiantar resultados intermediários das etapas do ciclo de desenvolvimento, em especial com relação àqueles resultados necessários para a tomada de decisão quanto à compra de itens padrões ou início do projeto do molde (muitas destas informações e resultados estão disponíveis mesmo antes do término do projeto preliminar do componente). Na análise das fases do processo de desenvolvimento, o projeto e a fabricação do molde são, com certeza, partes do caminho crítico do processo. Reduzir o tempo de projeto e fabricação do molde pela antecipação de atividades, o que implica no repasse de resultados intermediários para etapas seguintes, pode ter um impacto significativo no tempo total do ciclo de desenvolvimento (ZIRGER e HARTLEY, 1996; SMITH e REINERTSEN, 1997). É claro que a antecipação e a simultaneidade na execução das tarefas requer o sincronismo da equipe de projeto e um bom sistema de comunicação e gerenciamento das informações, conforme discutido na seção 3.3. As tarefas também não podem ser antecipadas a ponto de gerar a necessidade de reprojeto, o que torna a medida contraproducente. Atividades que com grande probabilidade podem ser afetadas por modificações em outras atividades que ocorrem em paralelo, não devem ser demasiadamente antecipadas, uma vez que a reconsideração de decisões e retrabalhos causam desperdícios de tempo e recursos (BROWNING, 1998). Por exemplo, o projeto do sistema de refrigeração do molde não deve ser feito antes que a geometria do componente esteja

completamente definida, já que alguma mudança pode obrigar a revisão do projeto do sistema de refrigeração. Já a compra da placa porta cavidade pode ser antecipada, tendo-se por base apenas o desenho preliminar do componente, a definição do projeto de leiaute do molde e as características da máquina injetora.

Por fim deve-se ressaltar que a proposta de seqüenciamento para as tarefas apresentada é apenas um modelo para o processo de desenvolvimento de componentes de plástico injetados sob uma abordagem de engenharia simultânea, servindo como exemplo de como o ciclo de desenvolvimento pode ser reduzido e integrado. Cabe a equipe de desenvolvimento elaborar o seu próprio plano de projeto, determinando a seqüência e os paralelismos adequados para a situação de projeto em particular.

Quanto à viabilidade da prática da engenharia simultânea no setor, recomenda-se, a partir do que foi exposto no item 3.3.2, a adoção do modelo com base na infra-estrutura informatizada para que seja estabelecido um canal de comunicação entre os envolvidos com o processo de desenvolvimento. Esta abordagem ainda pode ser complementada com reuniões eventuais, caso haja necessidade e disponibilidade de recursos. Ao fazer esta proposta, tem-se em mente que sempre haverá perdas na qualidade da comunicação e na velocidade da troca de informações, quando este modelo de implantação da engenharia simultânea for comparada com a abordagem de reuniões de equipes multifuncionais.

Embora deva haver interações entre os integrantes da equipe de projeto multidisciplinar desde a etapa de projeto informacional do componente, a análise da figura 5.17 deixa claro que é na etapa de projeto preliminar do componente, em paralelo com a etapa de projeto de leiaute do molde, onde existe a maior cooperação entre as áreas do conhecimento representadas (desenvolvimento de produto, engenharia de materiais, projeto de moldes e planejamento do processo de produção) e um maior grau de interação entre as tarefas. Em específico, durante a tarefa de simulação e análise da moldabilidade esta observação é flagrante. A atividade de simulação e análise da moldabilidade é caracterizada por elevada cooperação, exigindo um maior grau de interação e iteração e, por conseguinte, maior nível de integração e melhores meios para a troca de informações entre os integrantes da equipe. É portanto, uma atividade crucial para a efetivação de uma abordagem integrada de desenvolvimento de componentes de plástico injetados.

A partir da constatação de que existe uma tendência a haver maiores interações entre as etapas de projeto preliminar do componente e de projeto de leiaute do molde, pode-se estabelecer uma alternativa para a melhora da comunicação e integração entre as especialidades envolvidas,

através da transferência das atividades de projeto de leiaute do molde para a organização responsável pelo projeto do componente. Esta opção, implica na manutenção de um ou mais especialistas em projetos de moldes entre os funcionários da organização responsável pelo projeto do componente. A empresa responsável pela fabricação do molde seria ainda consultada durante o processo de desenvolvimento, mas teria como atribuições principais o detalhamento do projeto do molde e a sua fabricação.

As barreiras para a integração seriam menores se toda a fase de projeto e fabricação do molde fosse realizada na organização responsável pelo projeto do componente, ainda que em outro departamento. Entretanto, a determinação das recomendações mais atuais no âmbito da administração de empresas, para que custos de produção sejam reduzidos e para que sejam concentrados recursos no negócio principal da empresa (*core competence*), é contrária a esta prática. Por outro lado, conforme comentado no item 1.1.4, KAZMER (1997) afirma que é cada vez maior a pressão para que as atividades de projeto e fabricação de moldes para injeção sejam feitas na própria empresa que projeta o componente, com o objetivo de reduzir o tempo de desenvolvimento. Somente uma análise individual para cada organização e situação de projeto pode determinar os custos e os benefícios da adoção de uma abordagem integrada de desenvolvimento. As vantagens apontadas e ilustradas ao longo deste capítulo, contudo, devem ser consideradas em qualquer situação onde a redução do ciclo de desenvolvimento é fator crucial para obter-se vantagens competitivas.

5.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A execução simultânea de tarefas torna o processo de desenvolvimento mais complexo, o que requer práticas de gerenciamento de projeto e de controle das informações mais eficientes. A falta ou o emprego inadequado de métodos e técnicas gerenciais pode, inclusive, tornar o processo de desenvolvimento simultâneo menos eficiente que o processo de desenvolvimento seqüencial (MILLER, 1993; CLARK e FUJIMOTO, 1988).

Conforme discutido no item 3.3.2, a segmentação e a dispersão geográfica do setor de desenvolvimento e produção de componentes de plástico injetados são barreiras à implantação de um ambiente de engenharia simultânea. Entretanto, os avanços tecnológicos dos meios de comunicação e troca de dados, aliados à redução nos custos e ao surgimento de *softwares* de gerenciamento e integração de equipes de projeto dispersas, apontam no sentido de viabilizar a adoção de um ambiente geograficamente disperso de engenharia simultânea com base na infraestrutura informatizada, como abordagem de projeto para integrar os agentes de projeto do

processo de desenvolvimento de componentes de plástico injetados.

O modelo apresentado incorpora práticas e recomendações que visam tornar o processo de desenvolvimento de componentes de plástico injetados mais estruturado e racional. Busca, sobretudo, melhorar os aspectos que determinam a competitividade, principalmente a qualidade do produto e o tempo de desenvolvimento, mas, de maneira indireta, também custos. Entretanto, a aplicação prática do modelo não trará resultados positivos se não for implementado em conjunto com um programa de conscientização e treinamento. Um sistema de gerenciamento adequado e eficiente (tanto de informações, quanto de equipe e recursos), metas e objetivos claros, sistemática de controle de projeto, pessoas tecnicamente qualificadas, que saibam trabalhar em equipe, e uma infra-estrutura adequada, são outros fatores externos ao modelo, mas que são condições fundamentais para o sucesso do processo de desenvolvimento de componentes de plástico injetados.

TAREFAS		01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
análise do ciclo de vida do componente	01	01																											
identificação necessidades/restrições/requisitos	02	X	02																										
especificações de projeto	03		X	03																									
identificação das funções	04				04																								
geração de alternativas de solução	05		X		X																								
seleção da(s) melhor(es) concepção(ões)	06		X																										
identificação parâmetros críticos/análise interfaces	07						07																						
elaboração do desenho preliminar	08					X	X	08			X	X																	
seleção do material	09					X				09	X	X																	
análise da integridade estrutural do componente	10								X	X	10																		
análise reológica e térmica	11								X	X		11																	
análise da viabilidade econômica	12								X			12																	
confecção do protótipo / testes funcionais	13								X					13															
Projeto Detalhado do Componente	14										X	X	X	14															
determinação número/posição pontos de injeção	15													X	15	X	X												
número/leiaute das cavidades	16													X	X	16	X												
posicionamento linha de partição	17													X	X	X	17	X											
leiaute do sistema de alimentação	18													X	X	X	X	18	X										
determinação das características construtivas	19													X	X	X	X	X	19	X									
análise "make or buy?"	20													X	X	X	X	X	20										
dimensionamento exato cavidades/canais	21													X	X	X	X	X				21							
projeto do sistema de refrigeração	22										X			X	X	X	X	X				22							
projeto mecânico (dimensionamento das placas)	23													X	X	X	X	X	X				23						
projeto do sistema de extração	24													X	X	X	X	X					X						
compra dos itens padrões	25													X	X	X	X	X						X					
modelamento geométrico preliminar do molde	26													X	X	X	X	X					X						
Projeto Detalhado do Molde	27													X	X	X	X	X						X					
Fabricação do Molde	28													X	X	X	X	X							X				

Figura 5.16 - Matriz DSM para o processo de desenvolvimento de componentes de plástico injetados: inter-relação entre as tarefas segundo o Fluxo de informações.

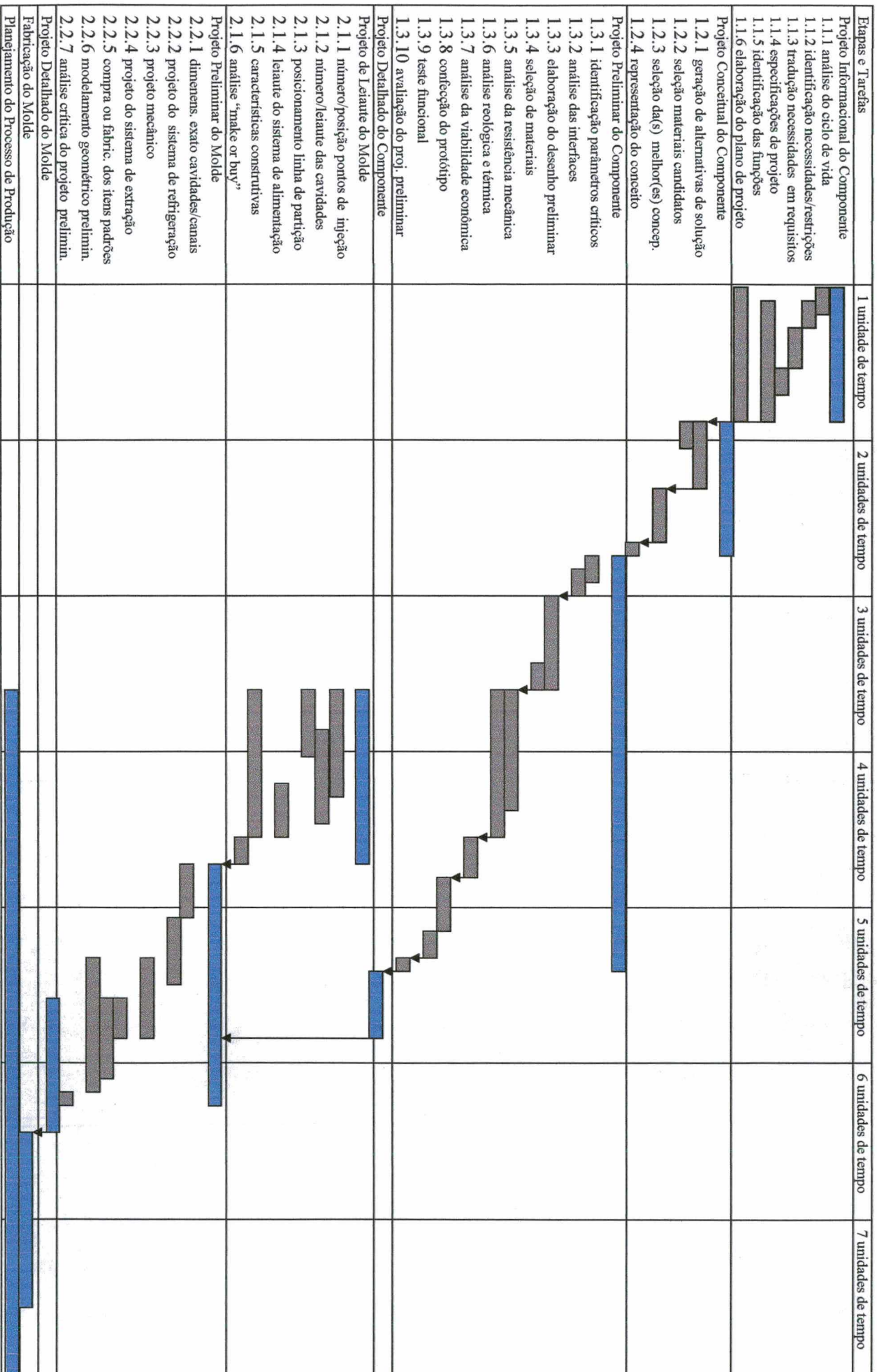


Figura 5.17 - Representação da execução simultânea das tarefas do processo de desenvolvimento de componentes de plástico injetados.

CAPÍTULO 6

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

6.1 CONCLUSÕES

Com a presente dissertação procurou-se estabelecer um modelo de referência para a condução do processo de desenvolvimento de componentes de plástico injetados sob uma abordagem de projeto integrado. A proposta partiu da verificação de problemas presentes na abordagem que vem sendo empregada na prática de projeto, o que tem dificultado o alcance das novas exigências de mercados dinâmicos e competitivos. Dentre estes problemas destacam-se a grande quantidade de tempo despendida para o desenvolvimento do produto, pouca preocupação com a inovação, projetos poucos orientados às necessidades dos clientes, problemas na comunicação entre os responsáveis pelos projetos do componente e do molde e pelo processo de produção, freqüentes ciclos de reprojeção, projeto de componentes inadequados sob o ponto de vista da fabricação, além de outros problemas que comprometem a qualidade do produto, geram desentendimentos e aumentam custos e o tempo total do ciclo de desenvolvimento.

Visando a eliminação destas falhas através da melhora na abordagem de projeto empregada para o desenvolvimento de componentes de plástico injetados, o modelo proposto foi constituído com base nas características do setor e do processo de desenvolvimento em particular, assim como no estudo da viabilidade e adequação de práticas e metodologias de desenvolvimento de produtos ao projeto de componentes.

As características do setor e do processo de desenvolvimento de componentes de plástico injetados, sobretudo a dispersão geográfica das empresas do setor e o caráter segmentado e multidisciplinar do processo de desenvolvimento, induziram ao estudo e proposição de um modelo de desenvolvimento dentro de uma filosofia de engenharia simultânea, como forma de alcançar uma vantagem competitiva através de melhorias no processo de desenvolvimento. A engenharia simultânea foi tratada como um eficiente meio para a melhora na qualidade dos produtos, redução do ciclo de desenvolvimento e conseqüente redução nos custos de desenvolvimento e fabricação.

Dentro desta linha de raciocínio, constatou-se que as características do setor e do processo de desenvolvimento de componentes de plástico injetados, ao mesmo tempo que necessitam de maior integração, impõem barreiras à implantação de um ambiente integrado de projeto. Embora difícil de implantar, não restou dúvidas de que a integração do processo e das empresas do setor é condição fundamental para o alcance das melhorias pretendidas. Dentre as formas de implantação da engenharia simultânea, verificou-se que aquela com base na infraestrutura informatizada é hoje a mais viável para o setor, uma vez que é muito difícil a reunião de uma equipe com representantes das áreas do conhecimento relacionadas, assim como é difícil a reunião, manutenção e recuperação dos conhecimentos e experiências em base de dados, através das ferramentas disponíveis atualmente. Os avanços tecnológicos e a redução do preço de aquisição das chamadas Tecnologias da Informação, assim como o desenvolvimento de inúmeros *softwares* adequados para um ambiente virtual de desenvolvimento de produtos, favorecem à opção pela abordagem com base na infra-estrutura informatizada. As dificuldades para que sejam efetuadas as mudanças exigidas na filosofia de trabalho, as limitações tecnológicas, sobretudo com relação à compatibilidade de formatos de arquivo, e as limitações de recursos para investimentos em infra-estrutura e treinamento por parte das pequenas e médias empresas são, todavia, dificuldades que precisam ser vencidas. Este tipo de abordagem também implica no estabelecimento de parcerias entre as empresas responsáveis pelo projeto do componente, projeto e fabricação do molde, e pelo processo de moldagem por injeção, de modo a integrá-las desde o início ao processo de desenvolvimento, seguindo uma linha estratégica que vem sendo denominada de *Earlier Supplier Involvement*.

O modelo de referência foi proposto pensando-se na implantação solidária a um ambiente de engenharia simultânea, integrando-se as atividades do processo de desenvolvimento. Para isto, foi proposta a definição do ciclo de desenvolvimento de componentes de plástico injetados como sendo o conjunto de fases e etapas que inicia com o entendimento do problema de projeto e termina com a aprovação do lote piloto. O ciclo de desenvolvimento inclui, portanto, o projeto e a fabricação do molde e o planejamento do processo de produção, etapas estas que devem ser executadas de forma integrada ao projeto do componente, seja pela troca de informações, ou seja para execução simultânea das atividades. Ao reunir-se sob um único processo (o processo de desenvolvimento do componente) o projeto do componente injetado, projeto e fabricação do molde e planejamento do processo de produção, pretendeu-se criar condições favoráveis para que uma equipe de desenvolvimento multidisciplinar tenha uma visão holística de todo o ciclo de desenvolvimento, sentindo-se responsável por cada uma das etapas necessárias para a obtenção

do componente injetado, incluindo a fabricação do molde e o planejamento do processo de produção.

O desdobramento do ciclo de desenvolvimento em três fases (projeto do componente, projeto e fabricação do molde e planejamento do processo de produção) e a divisão de cada uma das fases em etapas, foram proposições feitas de forma conveniente, a fim de alcançar os objetivos propostos: projetos voltados às necessidades dos clientes, integração das áreas do conhecimento envolvidas, execução integrada e simultânea das atividades, avaliações intermediárias, projeto adequado à manufatura e redução dos ciclos de reprojeto. Em linhas gerais, relacionou-se às principais etapas sugeridas as seguintes proposições de melhorias:

Etapa de Projeto Informacional do Componente: com a formulação desta etapa pretendeu-se garantir que nenhuma ação mais concreta de projeto fosse realizada sem o entendimento do problema de projeto, o que deve eliminar ou reduzir ciclos de reprojeto e reconsiderações de decisões tomadas, duas das mais frequentes causas para atrasos no processo de desenvolvimento. A análise do ciclo de vida do componente realizada pela equipe multidisciplinar de desenvolvimento foi sugerida como meio para entender o problema de projeto, visualizar problemas futuros e identificar as necessidades dos clientes de projeto e os parâmetros relacionados. O estabelecimento dos requisitos de projeto a partir das necessidades foi proposto com a finalidade de incorporar a qualidade ao produto, caracterizando-o tecnicamente em função das reais necessidades dos clientes. Por fim, o estabelecimento das especificações de projeto foi sugerido como forma de estabelecer metas bem definidas a serem alcançadas. A formulação de um plano de projeto também foi proposta como um meio para tornar claro qual o problema de projeto e servir de parâmetro para avaliações sistemáticas ao longo do processo de desenvolvimento. Entendeu-se, ainda, que o desenvolvimento do componente difere do desenvolvimento de um produto para o consumo final, exigindo um tratamento diferenciado para as informações de projeto, sobretudo com relação ao cliente contratante e ao sistema técnico relacionado.

Etapa de Projeto Conceitual do Componente: a etapa de projeto conceitual foi proposta com a finalidade de promover a inovação e a concepção de componentes mais adequados, considerando não somente aspectos funcionais, mas também aspectos relacionados ao processo de fabricação. A consideração de mais de um princípio de solução e de conceitos inovadores, que deve ocorrer ao longo da etapa de projeto conceitual, tal como foi descrito no Capítulo 5, foi considerada como de grande importância para a obtenção de produtos inovadores, destacando-se frente aos demais disponíveis, seja por um melhor desempenho funcional, maior facilidade de fabricação,

menor custo ou, ainda, pela melhor aparência. A análise funcional e a exploração de princípios de solução foram propostos como práticas que devem levar a um ganho de competitividade pela diferenciação do produto e pela melhora na qualidade. Embora difícil de pôr em prática, a execução desta etapa com a participação de representantes das etapas de projeto e fabricação do molde e do planejamento do processo de produção foi vista como uma condição fundamental para que todos os parâmetros do ciclo de desenvolvimento fossem considerados já na etapa de projeto conceitual. Isto para garantir um conceito (fator que determina grande parte dos custos envolvidos durante as etapas do ciclo de vida do componente) associado com a fácil fabricação do molde e ausência de maiores dificuldades durante o processo de moldagem do componente. Pretende-se assim antecipar os problemas que normalmente implicam em ciclos de reprojeção e custos associados, para uma etapa onde as modificações são facilmente executadas e não implicam em custos elevados e maior demora. A proposta teve base na sensibilidade das condições de produção em função da geometria do componente, no grande número de parâmetros de projeto e processo inter-relacionados e nas dificuldades e custos envolvidos, caso haja a necessidade de executar alterações no molde de injeção.

Etapa de Projeto Preliminar do Componente: a etapa foi caracterizada como sendo de grande potencial para promover uma maior interação com as fases de projeto e fabricação do molde e planejamento do processo de moldagem. Através das análises efetuadas nesta etapa, pode-se discutir aspectos técnicos que possuem grande influência nas decisões e nos custos relacionados as duas fases seguintes do processo de desenvolvimento (projeto e fabricação do molde, e planejamento do processo de produção). A grande vantagem competitiva que se pode obter com a execução integrada da etapa de projeto preliminar do componente tal como foi proposto, reside na eliminação de ciclos de reprojeção devido às dificuldades para a fabricação do molde ou para moldar o componente. Evita-se assim, custos extras, atrasos para o início da produção, renegociações de contratos entre as empresas, além de antecipar muitas das atividades da fase de projeto e fabricação do molde, o que deve levar a uma redução no tempo total necessário para a execução do processo de desenvolvimento. A qualidade do produto, sensível às condições do processo de moldagem, também deve sofrer significativa melhora.

Etapa de Projeto de Leiaute do Molde: esta etapa foi proposta com a intenção de reunir as atividades que devem ser executadas de forma concomitante com o projeto preliminar do componente, visando não só a redução do ciclo de desenvolvimento através da execução simultânea das atividades, mas também a redução dos ciclos de reprojeção, a melhora na qualidade do componente a ser injetado e a redução nos custos de fabricação do molde. É uma forma de

integrar o projeto do molde às decisões tomadas durante a fase de projeto do componente, o que deve também eliminar ou reduzir as solicitações de modificações no projeto do componente após a sua conclusão, atrasos devido a necessidade de correções na geometria do componente, renegociação de contratos e problemas na comunicação entre as organizações que participam do ciclo de desenvolvimento do componente. Em outras palavras, a etapa foi proposta como forma de complementar os objetivos de integração pretendidos durante a etapa de projeto preliminar do componente. A verificação da existência de atividades acopladas entre as duas etapas (seção 5.5) reforçaram esta idéia.

A transferência das principais atividades da etapa de projeto de leiaute do molde para a organização responsável pelo projeto do componente também foi sugerida como uma alternativa para promover uma maior integração entre as atividades de projeto do componente e projeto do molde. Esta proposta alternativa tem base na verificação da forte inter-relação existente entre o projeto do componente e o projeto do molde, sobretudo com relação às atividades relacionadas às etapas de projeto preliminar do componente e projeto de leiaute do molde.

O envolvimento dos responsáveis pelo planejamento do processo de produção na etapa de projeto do componente foi proposto com o intuito de incorporar a qualidade ao produto, contribuindo para a obtenção de produtos fáceis de serem fabricados e com características tais que as condições de processo não afetem demasiadamente a qualidade e o desempenho funcional (projeto robusto). Ficou claro através da caracterização do processo de desenvolvimento, o quanto o processo de moldagem tem influência sobre a satisfação das necessidades de projeto. A abordagem proposta promove ainda o conhecimento das restrições de produção desde as etapas iniciais do processo de desenvolvimento.

No campo das metodologias e técnicas de auxílio ao projeto conclui-se que o projeto de componentes de um modo geral, é um nível bastante concreto no processo de desenvolvimento de um sistema técnico, exigindo a formulação de metodologias próprias para a necessidade deste tipo de projeto. As metodologias de projeto normalmente propostas para o projeto de sistemas técnicos, sobretudo aqueles pertencentes a escola semântica, são fundamentadas na abstração e no método da síntese funcional, sendo muito complexas e pouco úteis considerando as características e o menor nível de complexidade da maioria dos casos de projeto de componentes moldados por injeção. Muitas recomendações e técnicas, contudo, podem ser transferidas para a situação de projeto de componentes, tal como foi feito para o caso específico de componentes de plástico injetados. Algumas destas técnicas foram bem sucedidas na aplicação durante o estudo de caso relatado no Capítulo 4, tal como a análise funcional e a geração de princípios de solução

alternativos. Outras tiveram sua aplicação dificultada devido às características do projeto de componentes, como foi o caso da síntese funcional e da combinação de princípios de solução, tentando-se obter alternativas de solução.

No caso de projeto de componentes, ficou claro a maior importância que assume a análise de parâmetros de projeto, sobretudo para o projeto de componentes de plástico injetados, que envolve uma grande quantidade de parâmetros sensíveis às condições do processo de moldagem e fortemente inter-relacionados. A importância de se trabalhar no nível de detalhe das *features* de projeto, também ficou evidente, uma vez que existe uma forte relação entre as *features* geométricas empregadas ou concebidas para o projeto do componente e o grau de dificuldade imposto à fabricação do molde e ao processo de moldagem por injeção, refletindo também na qualidade do injetado obtido. Deste modo, tende a ser útil para este tipo de projeto, métodos e ferramentas de apoio que auxiliem na determinação dos parâmetros e das *features* de projeto (DOE, Taguchi, Projeto de Parâmetros, FMEA, etc.).

Seguindo estas constatações, o modelo de referência sugerido apresentou ainda as seguintes características:

- consideração dos requisitos do sistema técnico como forma de incorporar as necessidades dos clientes contratante e usuário no processo de desenvolvimento do componente (desdobramento da função qualidade entre o projeto do sistema técnico e o projeto do componente);
- tradução das necessidades em requisitos de projeto, de modo a orientar o projeto na direção das reais necessidades dos clientes, incluindo as necessidades do projeto e fabricação do molde e do processo de produção;
- tratamento especial às restrições de projeto, categoria de informação que tende a ser freqüente em projetos de componentes de plástico injetados;
- análise funcional do componente e identificação de princípios de solução;
- emprego de critérios com base em requisitos de projeto amplamente relacionados com o ciclo de vida, para a seleção dos melhores princípios de solução;
- projeto preliminar com ênfase nos parâmetros de projeto, na inter-relação existente entre eles e no estabelecimento de uma classificação segundo grau de importância como diretriz para as ações de projeto;
- avaliações regulares ao longo do processo de desenvolvimento, segundo critérios bem definidos e de conhecimento de todos os integrantes da equipe multidisciplinar, permitindo correções na estratégia de projeto adotada e nas características do componente em etapas com

poucos recursos comprometidos, e onde modificações não representam um custo muito elevado e grande dispêndio de tempo.

O projeto do molde foi tratado considerando suas particularidades, com a intenção de integrá-lo ao projeto do componente. Buscou-se identificar as tarefas pertencentes ao projeto do molde com maior interação com o projeto do componente (tarefas acopladas, dependentes ou diretamente afetadas), propondo-se a integração da execução destas tarefas ao projeto do componente.

O modelo apresentado deve servir como uma referência para trabalhos mais específicos no âmbito acadêmico e para cada situação real de projeto em particular, cumprindo assim um dos objetivos propostos. As principais características incorporadas ao modelo, entretanto, são básicas para a melhora dos resultados relacionados com os fatores que determinam a competitividade, e devem ser preservadas.

Embora as práticas recomendadas tenham por objetivo melhorar o processo de desenvolvimento de componentes de plástico injetados, resultando num menor ciclo de desenvolvimento, produtos mais inovadores, com menor custo e melhor qualidade, a sua aplicação prática pode ser contraproducente. A dependência dos resultados obtidos está na estratégia adotada, ou na forma através da qual o modelo e seus conceitos são implantados. Falta de treinamento e comprometimento da equipe de desenvolvimento, expectativa de alcance de resultados fáceis e imediatos, uso de ferramentas inadequadas, falhas no gerenciamento das atividades e no fluxo das informações, falta de uma infra-estrutura básica, são apenas alguns fatores que determinam o insucesso de qualquer tentativa de implantação de uma nova abordagem de projeto. Sob estas condições os resultados alcançados serão muito provavelmente adversos àqueles esperados, levando ao descrédito do modelo e da abordagem proposta. Estes fatores, próprios de cada ambiente, organização e equipe de desenvolvimento, desautorizam a recomendação da aplicação do modelo proposto como sendo condição única e suficiente para que os objetivos de melhoria nas vantagens competitivas sejam atingidos.

As inter-relações existentes entre as fases do ciclo de desenvolvimento e as oportunidades de melhorias através da integração entre as fases, somente foi possível com a consideração de todo o processo de desenvolvimento de componentes de plástico injetados, desde o entendimento do problema de projeto até a produção do lote piloto. A forma ampla com que foi tratado o tema foi fundamental para a percepção da verdadeira dimensão e complexidade do processo e da melhor forma de integrá-lo. O objetivo de ter como foco do problema e objeto de caracterização e melhoria o processo de desenvolvimento como um todo, e não apenas partes isoladas e

específicas, foi alcançado. Este entendimento amplo do problema também serviu para a integração entre as áreas de pesquisa em desenvolvimento de produto e de processos de produção do Departamento de Engenharia Mecânica, através da cooperação entre o NeDIP (Núcleo de Desenvolvimento Integrado de Produto) e o CIMJECT (Centro de Informações em Manufatura, Integrada por Computador, para Componentes de Plástico Injetado).

Acredita-se que com o que foi exposto, conseguiu-se estruturar o processo de desenvolvimento de componentes de plástico injetados com base teórica aplicada às condições práticas reais, contribuindo para reduzir o empirismo praticado e para aumentar as chances de sucesso do complexo processo de desenvolvimento de componentes de plástico injetados. Sob esta afirmativa, julga-se que os objetivos estabelecidos foram alcançados. Existem, entretanto, oportunidades de melhorias que não foram consideradas por fugirem ao escopo inicialmente determinado ou devido a restrições de recursos. Sugestões para trabalhos futuros, que venham a complementar a presente dissertação e promover o contínuo progresso do conhecimento, são feitas na seção que segue.

6.2 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Conforme mencionado no início deste trabalho, a abrangência do tema tratado deveria fazer surgir uma série de recomendações para que problemas e idéias suscitadas ao longo da dissertação fossem tratados com maior profundidade. Ao descrever uma proposta de estruturação para o processo de desenvolvimento de componentes de plástico injetados como um todo, também tinha-se a pretensão de fixar um modelo de referência para futuros trabalhos na área, mais específicos, seguindo, entretanto, as diretrizes básicas da abordagem de desenvolvimento integrado. Inicia-se, assim, uma linha de pesquisa onde há muito por fazer, tendo como foco um setor produtivo carente de base científica e com um elevado potencial de crescimento.

A partir das conclusões, recomenda-se que as pesquisas tenham foco na integração das áreas envolvidas com o processo de desenvolvimento de componentes de plástico injetados, desenvolvimento integrado com ênfase em parâmetros e *features* de projeto e na implantação da engenharia simultânea com base em equipes virtuais. Para isto, propõe-se que sejam conduzidos trabalhos nas seguintes áreas correlatas:

- 1) estudo e desenvolvimento de métodos e técnicas de projeto com ênfase em parâmetros, visando dar suporte aos trabalhos executados através de equipes multidisciplinares, que sejam compatíveis com o modelo de desenvolvimento integrado. Os métodos e técnicas devem ser

adequados às características do processo de desenvolvimento do componente e suportar as atividades relacionadas a cada uma das etapas, sobretudo com relação à geração e seleção de princípios de solução, estimativas de custo do componente e do molde, seleção de material e simulação numérica do processo de moldagem. Especialmente a etapa de projeto preliminar do componente carece de maiores estudos sobre como devem ser conduzidas as atividades. As técnicas de projeto devem também procurar envolver o projeto do molde em paralelo ao projeto do componente. Algumas decisões quanto ao projeto do componente podem ser melhor avaliadas se forem feitas de forma concomitante a decisões relacionadas com o projeto do molde;

- 2) estudo de metodologias, métodos e meios para a execução virtual de projetos, o que engloba caracterização de uma infra-estrutura requerida e adequada para o setor, avaliações de *softwares* de apoio ao desenvolvimento virtual de produto, abordagens adequadas para o trabalho e diretrizes para o gerenciamento, sobretudo de informações, mas também das atividades e recursos. Não há dúvidas de que o desenvolvimento virtual de produtos requer métodos e técnicas de gerenciamento diferentes daqueles empregados no processo de desenvolvimento tradicional, sendo este um fator crucial para o sucesso da adoção deste tipo de abordagem de projeto integrado;
- 3) devido a grande quantidade de parâmetros inter-relacionados e da sensibilidade dos parâmetros de projeto às condições de produção do componente, parece ser útil um estudo da adequação de ferramentas de projeto voltadas para análises de causa e efeito e para conferir robustez ao projeto de componentes de plástico injetados. Dentre estas ferramentas cita-se, como exemplo, DOE, Taguchi, Projeto de Parâmetros, FMEA, dentre outras;
- 4) estudo e análise de modelos sistemáticos para avaliação de projetos e como adequá-los ao processo de desenvolvimento de componentes de plástico injetados;
- 5) pesquisa sobre as formas e técnicas de cooperação inter-organizacionais, buscando estabelecer a mais adequada às características do setor e do processo de desenvolvimento de componentes de plástico injetados. Também deve-se visar à proposição de abordagens e ferramentas para integração entre o desenvolvimento do sistema técnico e o desenvolvimento dos componentes correspondentes. Enquadram-se neste assunto, relações entre cliente e fornecedor, *Earlier Supplier Involvement*, projeto integrado (*co-design*), dentre outras;
- 6) considerando as dificuldades para a implantação de um ambiente de engenharia simultânea, são necessários estudos mais profundos sobre estratégias para implantar este tipo de abordagem no setor de projeto e fabricação de componentes moldados por injeção;

- 7) desenvolvimento de ferramentas computacionais de apoio. Apesar do atual estado da arte dos sistemas especialistas voltados para o desenvolvimento de componentes injetados ainda ser pouco desenvolvido, e das dificuldades encontradas para o armazenamento e recuperação de informações, novas pesquisas e técnicas para o gerenciamento da informação estão surgindo, fazendo com que esta linha de pesquisa tenha boas perspectivas a médio-longo prazo. O desenvolvimento de módulos de sistema CAD com base em *features* pré definidas para auxiliar o projetista de componentes de plástico injetados também parece ser de grande utilidade. Em ambos os casos, recomenda-se que seja seguida uma abordagem de projeto para o ciclo de vida. Base de dados mais sofisticadas e sistemas customizáveis de apoio à obtenção e análise de informações de projeto, são outros dois objetos de desenvolvimento com grande potencial de contribuição;
- 8) estabelecimento de um ambiente integrado de desenvolvimento de componentes de plástico injetados dentro da estrutura do Departamento de Engenharia Mecânica, envolvendo grupos de pesquisa relacionados, como um meio para o ensino da prática de projeto dentro das abordagens e teorias mais atuais;
- 9) aplicação e avaliação do modelo proposto dentro de ambientes industriais, através da condução de diferentes estudos de caso em parceria com empresas do setor, buscando-se identificar oportunidades de melhorias.

Mais especificamente, identificou-se nas principais etapas do ciclo de desenvolvimento, oportunidades de melhorias e demanda por ferramentas que objetivam auxiliar a execução das tarefas propostas, a saber:

com relação à etapa de projeto informacional do componente:

- desenvolvimento de ferramentas computacionais para auxiliar o processo de levantamento, registro e recuperação de informações de projeto, considerando a dispersão geográfica que caracteriza o setor de desenvolvimento e produção de componentes de plástico injetados;
- meios e técnicas para auxiliar no processo de levantamento das necessidades de projeto (relacionadas com o ciclo de vida) e posterior tradução em requisitos de projeto. Muitas necessidades e requisitos são comuns a grande parte das situações de projeto de componentes de plástico injetados.

com relação à etapa de projeto conceitual do componente:

- elaboração de uma base de dados relacionando funções freqüentemente presentes em componentes moldados por injeção com princípios de solução e suas principais vantagens e desvantagens;

- estudo de técnicas de estímulo a criatividade para geração de alternativas de concepções para componentes de plástico injetados;
- proposição de ferramentas computacionais para registro e recuperação de informações obtidas com a experiência de projeto, para que sejam utilizadas no momento da geração de concepções;
- estudo de métodos para avaliação e seleção de princípios de solução para funções de componentes de plástico injetados segundo critérios relacionados com o ciclo de vida.

com relação à etapa de projeto preliminar do componente:

- desenvolvimento de métodos para a seleção de materiais plásticos, considerando a inter-relação entre propriedades do material, função e forma do componente, e processo de produção;
- proposição de abordagens e estratégias para execução da análise da moldabilidade do componente, considerando de forma simultânea, aspectos do projeto do componente e do molde;
- desenvolvimento de métodos para estimativa de custo do componente.

com relação ao projeto do molde:

- desenvolvimento de métodos e ferramentas de suporte para assistir o projeto do molde, considerando suas características particulares e integração ao projeto do componente;
- estudo de métodos para estimativa de custo de moldes, auxiliando no processo de decisão com relação às características do componente e do molde;
- proposição de métodos de avaliação do projeto do molde antes que seja fabricado.

com relação ao planejamento do processo de produção:

- estudo da adequação de técnicas de análise para verificação da inter-relação entre parâmetros de produção e identificação dos mais importantes (que produzem maior impacto), como, por exemplo, os arranjos ortogonais propostos por Taguchi.

Acredita-se que se as propostas para trabalhos futuros mencionadas forem conduzidas de uma forma integrada e sincronizada, procurando-se garantir a continuidade e o inter-relacionamentos entre os trabalhos, um conjunto de obras de referência de inquestionável utilidade será obtido.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABIPLAST - Associação Brasileira das Indústrias de Transformação do Plástico. *Perfil 98*. 1999. 11 p.
- ABIPLAST - Associação Brasileira das Indústrias de Transformação do Plástico. *Perfil 97*. 1998. 11 p.
- AHRENS, Carlos H. *Características Desejáveis para a Implantação e o Emprego de Sistemas CAE/CAD/CAM no Setor de Moldes de Injeção de Plásticos*. Florianópolis, 1994. 204 p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica). Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina.
- AL-ASHAAB, Ahmed H. S.; YOUNG, Robert I. M. *Design for Injection Molding in a Manufacturing Model Environment*. Disponível em: <<http://www.mor.itesm.mx/EVENTOS/CERG/papers.html>> Acesso em [ago. 1997?].
- ASHBY, M. F. *Material Selection in Mechanical Design*. Oxford: Pergamon Press, 1992. 311 p.
- ASIEDU, Y.; GU, P. *Product Life Cycle Cost Analysis: state of the art review*. International Journal of Production Research, v. 4, n. 36, p. 883-908. 1998.
- ASIMOW, Morris. *Introdução ao Projeto*. Mestre Jou, São Paulo, 1968. 171 p.
- BACK, Nelson. *Metodologia de Projeto de Produtos Industriais*. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1983. 389 p.
- _____. *Metodologia de Desenvolvimento Rápido de Produtos de Injeção*. Encontro para o Desenvolvimento Integrado de Processos e Produtos de Injeção de Plásticos, Metais e Cerâmicas. Florianópolis, 1998.
- BEITER, Kurt A.; CARDINAL, James M.; ISHII, Kos. *Design for Injection Molding: balancing mechanical requirements, manufacturing costs, and material selection*. In: ASME Computer Integrated Concurrent Design Conference, Boston, Sept., 1995. *Proceedings...*
- _____; ISHII, Kosuke. *System Cost Based Material Selection for Engineering Thermoplastic*. In: ASME Computers in Engineering Conference, Sacramento, Sept., 1997. *Proceedings...*
- _____; ISHII, Kosuke. *Incorporating the Voice of Customer in Preliminary Component Design*. In: DETC'99 - ASME Design for Manufacturing Symposium, Las Vegas, Sept., 1999. *Proceedings...*
- BELOFSKY, H. *Plastics: Product Design and Process Engineering*. Munich: Hanser, 1995. 631p.
- BENDER, Beate; KIESLER, Martin; BEITZ, Wolfgang. *A Model of Analysis to Improve Teamwork Performance*. In: International Conference on Engineering Design - ICED. Munich, 1999. *Proceedings...* p. 177-182.
- BLASS, Arno. *Processamento de Polímeros*. Florianópolis: UFSC, 1998. 313 p.

- BOOTHROYD, Geoffrey; DEWHURST, Peter; KNIGHT, Winston A. *Product Design for Manufacturing and Assembly*. New York: Marcel Dekker, 1994. 540 p.
- BORG, Jonathan, MacCALLUM, K. J. *A Hypercard Expert System for Plastic Product Design*. In: International Conference on Computer Integrated Manufacturing (ICCIM'95), 1995, Singapore. *Proceedings...* p. 295-302.
- BRDE. *Diagnóstico da Competitividade da Indústria de Produtos de Matérias Plásticas do Estado de Santa Catarina*. América Consultoria e Projetos Internacionais, 1997. 117 p.
- BROWNING, Tyson R. *Use of Dependency Structure Matrices for Product Development Cycle Time Reduction*. In: The Fifth ISPE International Conference on Concurrent Engineering: Research and Applications, Toquio, 1998. *Proceedings...*
- _____. *DSM-Sim (DSM Simulation) Synopsis*. Disponível em <<http://web.mit.edu/org/d/dsm/Tutorial/simulation.htm>> Acesso em out. 1999.
- BRYDSON, J. A.; HEINEMANN, B. *Plastics Materials*. 7. ed. Oxford, 1999. 920 p.
- CAAMAÑO, J.; ARRAIBI, J. R.; KORTABARRIA, J.; GOROSTIAGA, F.; CILLERUELO, E. *Influence of Teleworking on Design Organization*. In: International Conference on Engineering Design - ICED. Munich, 1999. *Proceedings...* p. 965-970.
- CHIN, K; WONG, T. *Knowledge-based Evaluation for the Conceptual Design Development of Injection Molding Parts*. In: Engng Applic. Artificial Intelligence, v. 9, n. 4, 1996. *Proceedings...* p. 359-376.
- CLARK, K. B.; FUJIMOTO, T. *Overlapping Problem Solving in Product Development*. Working Paper, Harvard Business School, 1988.
- CLAUSING, Don. *Total Quality Development - A Step-By-Step Guide to World-Class Cocurrent Engineering*. New York: ASME Press, 1994. 506 p.
- COATES, G.; DUFFY, A. H.; WHITFIELD, R. I.; HILLS W. *A Methodology for Design Coordination in a Distributed Computing Environment*. In: International Conference on Engineering Design - ICED. Munich, 1999. *Proceedings...* p. 672-678.
- COOKE, J. A.; McMAHON, C. A.; NORTH, M. R. *Metrics in the Engineering Design Process*. Journal of Engineering Manufacture, v. 213, n. 5, 1999.
- COMPONATION, Paul J.; BYRD Jr., Jack. *Using a modified readiness assessment for concurrent engineering*. Engineering Management Journal, Rolla, v. 11, n. 1, p. 21-28, mar. 1999.
- COUTINHO, Luciano, et al. (Coord.) *Estudo da Competitividade da Indústria Brasileira - ECIB*. Campinas: Papirus, 1994.
- CRAWFORD R. *Plastics Engineering*. New York: Pergamon, 1987. 354 p.
- CROW, Kenneth. *Design for the Life Cycle*. Disponível em <www.npd-solutions.com/lifecycle.html> Acesso em: 1997.
- _____, Kenneth. *Control your process with phase gates and design reviews*. Disponível em: <<http://members.aol.com/drmassoc/reviews.html>> Acesso em 1998.

- DARÉ, Giovanni; BACK, Nelson; AHRENS, Carlos H., OGLIARI, André. *Desenvolvimento Integrado de Produto: uma Referência para o Projeto de Componentes de Plástico Injetados*. In: II Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produtos - CBGDP, São Carlos, 2000. CD-ROM.
- DEFOSSE, Stephen F., PHATAK, Avi G., TYLER, Daniel T. *Concurrent Engineering with Computer-Aided Design and Manufacturing Tools to Reduce Time to Market for Plastic Parts*. Disponível em <<http://www.lexmark.com/ptc/parer-01.html>> Acesso em abr. 1997.
- _____, Stephen; SPANOUDS, Steve; KEARNEY, Bill; SWEAT, Bob. *Successfull Plastic Part Development*. 1996
- DEWHURST, Peter. *Cutting Assembly Costs with Molded Parts*. Machine Design, p. 68-72, jul. 1988.
- DIHLMANN, Christian . *Simulação e Análise do Preenchimento de Cavidades em Moldes para Injeção de Termoplásticos Utilizando Método Manual e Tecnologia CAE/CAD*. Florianópolis, 1993. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina.
- _____. *A Indústria de Moldes Nacional Frente à Concorrência Imposta pelo Mercado Globalizado*. Encontro para o Desenvolvimento Integrado de Processos e Produtos de Injeção de Plásticos, Metais e Cerâmicas. Florianópolis, 1998.
- EASTMAN, Daniel A.; SMITH, Preston G. *Low-tech Tools Speed Plastic Parts*. Machine Design, p. 40-46, aug. 1996.
- EDER, Ernst. *Design Modeling: A Design Science Approach (and why does industry not use it?)*. Journal of Engineering Design, v. 9, n. 4, 1998.
- EVANS, Stephen. Implementation: common failure modes and success factors. In: PARSAEI, Hamid H.; SULLIVAN, William G. *Concurrent Engineering - Contemporary issues and modern design tools*. London: Chapman & Hall, 1993. p. 42-60.
- FONSECA, Antonio J. H. *Desenvolvimento de uma Sistemática para a Obtenção das Especificações de Projetos de Produtos Industriais*. Florianópolis, 1996. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina.
- _____. *Sistematização do Processo de Obtenção das Especificações de Projeto de Produtos Industriais e Sua Implementação Computacional*. Florianópolis, 2000. 180 p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica), Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina.
- FRADOS, Joel. *Plastics Engineering Handbook*. New York: Van Nostrand Reinhold Company, 4. ed., 1976. 909 p.
- GAUSEMEIER, Jürgen; LEWANDOWSKI, Steffen; KESPOHL, Hans D., et al. *Gateway Integration of Global Engineering Networking (GEN) and Product Data Management (PDM)*. In: International Conference on Engineering Design - ICED, Munich, 1999. *Proceedings...* p.703-708.
- GLANVILL A., DENTON E. *Moldes de Injeção*. São Paulo: Edgard Blücher, 1980. 309 p.

- GOLDSBERRY, Clare. *In this, the nimblest of markets, OEMs want fast response, molders with a global view, and short supplier lists*. Disponível em <www.immet.com> Acesso em jan. 2000.
- GORDON Jr., M. J. *Total Quality Process Control for Injection Molding*. Munich: Hanser Publishers, 1993. 604 p.
- GUI, Jin-Kang; SALMINEN, Vesa; SONERA, Tapani K. *Functional Deployment of Semantic Product Modelling in a Virtual Enterprise*. In: International Conference on Engineering Design - ICED. Munich, 1999. *Proceedings...* p. 691-696.
- HANADA, H.; LEIFER, L. J. *Intelligent Design System for Injection Molded Parts Based on the Process Function Analysis Method*. In: NSF Engineering Design Research Conference, Amherst, 1989. *Proceedings...*
- HARPER, Charles A. *Handbook of Plastics, Elastomers and Composites*. New York: McGraw-Hill, 3. ed, 1996.
- HARTLEY, John. R. *Concurrent Engineering: Shortening Lead Times, Raising Quality and Lowering Costs*. Productivity Press, 1992. 308 p.
- HAUSER, John R.; KATZ, Gerald M. *Metrics: you are what you measure!*. European Management Journal, oct. 1998.
- _____. *Metrics Thermostat*. Disponível em: <<http://www.ams-inc.com/readings/John/MetricsThermo.htm>> Acesso em mar. 2000.
- HUBKA, Vladimir; EDER, Ernst W. *Design Science: Introduction to Needs, Scope and Organization of Engineering Design Knowledge*. London: Springer Verlag, 2. ed., 1996. 251 p.
- ISHII, K., HORNBERGER, L., LIOU, M. *Compatibility-based Design for Injection Molding*. In: Concurrent Product and Process Design Symposium, ASME, Dec. 1989. *Proceedings....* p. 153-160.
- JO, Hyeon H., PARSAEI, Hamid. R., SULLIVAN, William. G. Principles of Concurrent Engineering. In: PARSAEI, Hamid H.; SULLIVAN, William G. *Concurrent Engineering - Contemporary issues and modern design tools*. London: Chapman & Hall, 1993, p. 3-23.
- KAZMER, David O. *Polymer Injection Technology for the Next Millenium: A Vision to the Future*. Journal of Injection Molding Technology, v. 1, n. 2., p. 81-90. 1997.
- KOIKE, Tetsu. *Integração do Projeto e da Fabricação de Moldes para a Injeção de Plásticos com Auxílio de Tecnologias CAD/CAE/CAM*. Florianópolis, 1995. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina.
- KOLLER, R. *Konstruktionslehre für den Maschinenbau*. Heidelberg: Springer Verlag, 1985. 327 p.
- KUSIAK, A., WANG, J. *Decomposition of the Design Process*. Journal of Mechanical Design, 1995.

- LENCINA, Diovani C. *O Uso da Videoconferência Via Internet no Auxílio ao Projeto, Assistido por Computador, de Moldes para Peças de Plástico Injetadas*. Florianópolis, 1998. 120 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina.
- MacDERMOTT, Charles P., SHENOY, Aroon V. *Selecting Thermoplastics for Engineering Applications*. New York: Marcel Dekker, 1997. 2. ed. 305 p.
- MADDUX, Gary. A., SOUDER, William. E. Overcoming Barriers to the Implementation of Concurrent Engineering. In: PARSAEI, Hamid H.; SULLIVAN, William G. *Concurrent Engineering - Contemporary issues and modern design tools*. London: Chapman & Hall, 1993, p. 61-74.
- MAFFIM, David. *Engineering Design Models: context, theory and practice*. Journal of Engineering Design, v. 9, n. 4, p. 315-327, 1998.
- MAGRAB, Edward B. *Integrated Product and Process Design and Development*. New York: CRC Press, 1997. 306 p.
- MALLOY, R. A. *Plastic Part Design for Injection Molding: an Introduction*. New York: Hanser, 1994. 460p.
- MANISCALCO, Michelle. *More for less is the mantra. Collaboration, specialization, and expanded services are in demand*. Disponível em <www.immet.com> Acesso em jan. 2000.
- MANO, Eloisa B. *Introdução a Polímeros*. São Paulo: Edgard Blücher, 1985. 111p.
- MENGES G.; MOHREN P. *How to Make Injection Molds*. Munique: Hanser, 1993. 540 p.
- MICHAELI, W.; SCHLESINGER, K.; BERGER, C. *Informationsmanagement in der Formteilentwicklung: Anforderungsliste als Integrationsansatz*. Konstruktion, p. 21-26, 1999.
- MILLER, L. C. *Concurrent Engineering Design: Integrating the Best Practices for Process Improvement*, Society of Manufacturing Engineers, 1993. 319 p.
- MORTENSEN, Niels H. *Function Concepts for Machine Parts: Contribution to a Part Design Theory*. In: International Conference on Engineering Design - ICED. Munich, 1999. *Proceedings...* p. 841-846.
- NIDAMARTHI, Srinivas; ALLEN, Robert H.; REGALLA, Srinivasa P.; SRIRAM, Ram D. *Observations from Multidisciplinary, Internet-based Collaboration on a Practical Design Project*. In: International Conference on Engineering Design - ICED. Munich, 1999. *Proceedings...* p. 709-714.
- O'DONNELL, F. J.; DUFFY, A. H. *Modelling product development performance*. In: International Conference on Engineering Design - ICED. Munich, 1999. *Proceedings...* p. 417-420.
- O'FLYNN, Michael J., AHMAD, Munir M. Computer-based concurrent engineering systems. In: PARSAEI, Hamid H.; SULLIVAN, William G. *Concurrent Engineering - Contemporary issues and modern design tools*. London: Chapman & Hall, 1993, p. 184-206.

- OGLIARI, A. *Sistematização da Concepção de Produtos Auxiliada por Computador com Aplicações no Domínio de Componentes de Plástico Injetado*. Florianópolis, 1999. 349p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica). Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina.
- PAHL, G., BEITZ W., *Engineering Design: A Systematic Approach*. Springer-Verlag, 1996. 397 p.
- PEIXOTO, Fernando L. *Considerações Quanto ao Uso de Técnicas para Análise de Fluxo em Cavidades de Moldes de Injeção*. Florianópolis, 1999. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina.
- PERERA, U. S. *Concurrent Design of Product and Processes for Conceptual Design of Injection Molding*. Austrália, 1997. 316p. Thesis (Doctor of Philosophy). Department of Mechanical and Manufacturing Engineering. University of Melbourne.
- PMI Standards Committee. *A Guide to the Project Management Body of Knowledge*. Product Management Institute. 1996.
- PRASAD Biren, WANG, Fujun, DENG, Jiati. *A Concurrent Workflow Management Process for Integrated Product Development*. Journal of Engineering Design, v. 9, n. 2, 1998.
- PUGH, S. *Total Design*. Wokingham: Addison - Wesley, 1991.
- RAM, Arie. *Fundamentals of Polymer Engineering*. New York: Plenum Press, 1997. 237 p.
- REES, Herbert. *Mold Engineering*. Munich: Hanser, 1995. 621p.
- RINGSTAD, Peter. *The Transition between Concept and Layout: Early Component Design*. In: International Conference on Engineering Design - ICED. Munich, 1999. *Proceedings...* p. 1171-1174.
- RODENACKER, W. G. *Methodisches Konstruieren*. Berlin: Springer Verlag, 1991. 336 p.
- ROSATO, Dominick V.; ROSATO, Donald V. *Injection Molding Handbook*. New York: Van Nostrand Reinhold, 1987.
- SCHRAMME, S.; RÜTTINGER, B. *The Effects of Computer Support on Communication Patterns in Work Groups*. In: International Conference on Engineering Design - ICED. Munich, 1999. *Proceedings...* p. 971-976.
- SCHULTE, M.; WEBER, C. *The relationship between functional and shape*. In: International Conference on Engineering Design - ICED 93. The Hague, 1993. *Proceedings...* p. 9-20.
- SEBASTIAN, D. H. *Function Based Design for Injection Molding*. In: Annual Technical Conference - ANTEC 93, 1993. *Proceedings...* p. 1114-1119.
- SEEGERS, Huib J. M. *Automotive Design for Recycling in GE Plastics*. In: International Conference on Engineering Design - ICED 93. The Hague, 1993. *Proceedings...* p. 512 - 519.
- SHAFER, Sean. *Fast-tracking Moldmaking*. Molding System, Oct., 1999, vol. 57, p. 20-23.

- SHANKAR, Srinivasa R.; JANSSON, David G. *A Methodology for the Quantitative Assessment of Manufacturability of Injection Molded Parts*. In: International Conference on Engineering Design - ICED 91. Zurich, 1991. *Proceedings...* p. 540-548.
- SIMPESC. *Caracterização e Desempenho da Indústria de Transformação de Produtos Plásticos do Estado de Santa Catarina*. Porto Alegre, [2000]. 30 p.
- SMITH, Preston G.; REINERTSEN, Donald G. *Desenvolvendo Produtos na Metade do Tempo: A agilidade como fator decisivo da globalização de mercado*. São Paulo: Editora Futura, 1995. 358 p.
- SMITH, Robert P; EPPINGER, Steven D. *A Predictive Model of Sequential Iteration in Engineering Design*. *Management Science*, v. 43, n. 8, p. 1104 - 1120, Aug. 1997.
- STEVENSON, James F. *Innovation in Polymer Processing Molding*. Munich: Hanser, 1996. 504p.
- TAURA, Toshiharu. *Design Science for Functional Design Process Modeling*. In: International Conference on Engineering Design - ICED. Prague, 1995. *Proceedings...* p.456-464.
- THOBEN, Klaus-Dieter; WEBER, Frithjof. *Designing Information and Communication Structures for Concurrent Engineering - Findings from the Application of a Formal Method*. In: International Conference on Engineering Design - ICED 99. Munich, 1999. *Proceedings...* p. 989-994.
- WOOD, Karen. *Product lines are shrinking and speed to market is paramount. OEMs want total service from their molders to help in the race*. Disponível em <www.immet.com> Acesso em jan. 2000.
- WOOD, Stephen L. *Design reasoning using plastic injection molding primary feature*. In: The ASME Design Engineering Technical Conference and Computers in Engineering Conference. Irvine, 1996. *Proceedings...* p. 1-12.
- _____, ULLMAN, David G. *The function of plastic injection moulding features*. *Design Studies*, v. 17, n. 2, p. 201-213, Apr. 1996.
- ZIRGER, B. J.; HARTLEY, J. L. *The Effect of Acceleration Techniques on Product Development Time*. *IEEE Transactions on Engineering Management*, v. 43, n. 2, p. 143-152. 1996.

APÊNDICE 1

CARACTERIZAÇÃO DO SETOR: ESTUDO DE CAMPO

A seguir são reunidas algumas informações que foram coletadas através de entrevistas em empresas produtoras de produtos de plástico injetados e moldes para injeção. As entrevistas foram conduzidas com o apoio de um questionário estruturado com perguntas abertas, permitindo-se que os entrevistados comentassem livremente sobre um determinado assunto direcionado. Foram visitadas oito empresas, sendo quatro no Brasil e quatro na Alemanha. O número de empresas visitadas é muito pequeno para ser tratado como uma amostra representativa de um setor tão amplo e tão diversificado. A natureza pouco específica das informações, e a concordância verificada entre os depoimentos obtidos em empresas distintas, entretanto, fornecem um indicativo das características do setor, considerando ainda que a maioria das informações colhidas reforçam outras caracterizações feitas sobre o setor em artigos e diagnósticos.

Os seguintes pontos foram identificados como sendo comuns às empresas visitadas:

- os projetos dos produtos injetados são realizados de forma bastante empírica, com o apoio de muitas regras e recomendações de projeto prescritas em catálogos e *handbooks*;
- as empresas sofrem fortes pressões com relação à redução dos prazos de entrega de seus produtos;
- tendência à terceirização de tarefas do processo de desenvolvimento e até mesmo de parte da produção;
- o projeto dos produtos de plástico injetados vem sendo conduzido com o envolvimento dos departamentos de *marketing*, produção e compras, e também de fornecedores, através de tentativas isoladas para a implantação dos princípios da engenharia simultânea. O projeto e a fabricação do molde, entretanto, são atividades que vêm sendo conduzidas de forma seqüencial, após a conclusão do projeto do componente;
- a dificuldade em reunir uma equipe de desenvolvimento multidisciplinar foi uma observação feita pela maioria das empresas visitadas. Um dos entrevistados revelou que dificilmente consegue reunir uma equipe com todos os representantes dos departamentos envolvidos com o projeto;
- os fornecedores de matéria-prima fornecem *know how* às empresas que desenvolvem os produtos de plástico injetados;
- as empresas são certificadas com a norma ISO9000 ou estão em processo de certificação;
- os procedimentos de projeto determinados pela norma ISO9001 implantados estão sendo avaliados de forma positiva, embora a crítica com relação à inflexibilidade da norma seja uma unanimidade entre os entrevistados;
- as empresas fabricantes de moldes solicitam com freqüência alterações no projeto do produto, o que implica em atrasos e renegociações de contratos;
- muitos projetos de produtos chegam às empresas fabricantes de moldes com informações insuficientes;

- tendência entre as empresas fabricantes de moldes em fornecer exclusivamente para determinados setores produtivos, como os setores automotivo, de eletroeletrônicos e materiais para a construção civil;
- os clientes das empresas fabricantes de moldes têm pouco conhecimento sobre o processo de projeto e fabricação de moldes, e sobre as características e limitações destas empresas;
- existem dificuldades na troca de informações entre as empresas que projetam o produto de plástico injetado e as empresas fabricantes de moldes, principalmente com relação à compatibilidade entre *softwares* e formatos de arquivos. Alguns entrevistados afirmaram que muito tempo é gasto com correções de geometria em sistemas CAD, em virtude de imperfeições causadas por conversões de formatos de arquivos. Muitos clientes ainda transmitem as informações do projeto do produto de plástico através de desenho técnico impresso, o que obriga os fabricantes de moldes a redesenhar a geometria do produto em sistema CAD para que seja elaborado o projeto da cavidade.

A partir destas observações, pode-se ainda comentar o seguinte:

- 1) a norma ISO9001 tem contribuído para a formalização do processo de desenvolvimento nas pequenas empresas, diminuindo o empirismo e criando, de certa forma, uma sistemática de projeto, apesar de ser uma simples adequação do processo tradicional às condições impostas pela norma;
- 2) algumas práticas isoladas de engenharia simultânea fazem parte da rotina de algumas das empresas visitadas. Quanto às empresas fabricantes de moldes, parece haver uma preocupação por parte de seus clientes, principalmente pertencentes ao setor automobilístico, em estabelecer uma maior parceria. São, entretanto, iniciativas pontuais de envolver os fabricantes de moldes no processo de desenvolvimento dos seus produtos. A localização dos centros de desenvolvimentos em outros países parece ser uma barreira para este tipo de envolvimento, uma vez que os fabricantes de moldes não dispõem de recursos humanos e financeiros para este fim;
- 3) existem problemas de comunicação entre os clientes e as empresas fabricantes de moldes devido ao desconhecimento por parte daqueles nas atividades realizadas por estes, e devido ainda as dificuldades de conversão de formatos de arquivo CAD. Em alguns casos, é difícil de obter até mesmo a geometria do componente, sendo repassado apenas a imagem do desenho do componente (formato raster). São grandes as dificuldades de troca de informações e para solicitações de modificações de projeto, principalmente nos casos em que o projeto do componente não é realizado no Brasil;
- 4) as ferramentas de projeto não são muito conhecidas pelas empresas. Apenas um dos entrevistados citou o FMEA como ferramenta utilizada em reuniões com clientes (indústria automobilística).

APÊNDICE 2

**RECOMENDAÇÕES PARA O PROJETO DE COMPONENTES
DE PLÁSTICO INJETADOS**

Tabela A2 - Regras de projeto para componentes de plástico injetados.

CITAÇÃO	REGRA	AÇÃO DA MEHORIA	FASE RELACIONADA
<p>“Cantos vivos aumentam a concentração de tensões associadas a tensões residuais ou ao carregamento em serviço” MALLOY (1994), p. 25</p> <p>“Cantos vivos têm a tendência a orientar, e mesmo causar degradação devido às condições de cisalhamento do fluxo de material em alta velocidade” MALLOY (1994), p. 26.</p> <p>“Raios de concordância não só reduzem a concentração de tensão, como também melhoram o fluxo de material no interior da cavidade do molde. Raios de arredondamento muito grandes, também devem ser evitados, uma vez que desperdiçam material, podem causar rechupes e representam variação excessiva na espessura de parede.” ROSATO e ROSATO (1987), p. 594.</p>	<p>Cantos, especialmente internos, devem ter raios de arredondamento adequados, quando possível.</p>	<p>Funcional / Qualidade</p>	<p>Utilização / Produção do componente</p>
<p>“O projetista do componente ou do molde pode geralmente aumentar a resistência na linha de solda mantendo o caminho de fluxo tão curto quanto possível” MALLOY (1994), p. 50.</p>	<p>Evitar geometrias que impliquem em longos caminhos de fluxo.</p>	<p>Qualidade Funcional</p>	<p>Produção do Componente</p>
<p>“Seções transversais de espessuras diferentes levam a problemas na moldagem. Manter a espessura de parede uniforme melhora a resistência mecânica e a aparência.” ROSATO e ROSATO (1987), p. 591</p> <p>“Uma espessura de parede constante reduz tensões, diferenças de contração e rechupes. Normalmente também contribui para reduzir o material empregado e para a economia da produção.” ROSATO e ROSATO (1987), p. 594.</p> <p>“Mudanças bruscas na espessura de parede prejudicam o preenchimento da cavidade e podem causar marcas de injeção no produto. Para evitar este problema na injeção, deve-se empregar altas temperaturas e/ou pressão de injeção e longos tempos na etapa de recalque (holding), aumentando o ciclo de injeção” REES (1995), p. 50.</p>	<p>Procurar manter a espessura de parede constante</p>	<p>Qualidade / Funcional / Custo / Tempo</p>	<p>Produção do componente / Utilização</p>

Tabela A2 - Regras de projeto para componentes de plástico injetados (continuação).

CITAÇÃO	REGRA	AÇÃO DA MEHORIA	FASE RELACIONADA
<p>“ Quando for inevitável variações na seção da peça, deve-se adotar transições de espessura graduais para evitar concentração de tensão e facilitar o fluxo de material durante a moldagem. Quando possível, é melhor evitar variações de espessura devido ao problema de empenamento e necessidade de maior tempo para o resfriamento” MALLOY (1994), p. 65.</p> <p>“Se a variação na espessura de parede for inevitável, a transição deve ser gradual, para evitar mudanças bruscas de temperatura durante a solidificação” ROSATO e ROSATO (1987), p. 595.</p>	<p>Quando for necessário variar a espessura de parede , adotar transições suaves de espessura.</p>	<p>Qualidade / Funcional / Tempo</p>	<p>Produção do componente / Utilização</p>
<p>“Peças com espessura de parede muito grande estão sujeitas a longos ciclos de injeção e tempo de solidificação, rechupes, empenamento, e aumentam os custos de fabricação.” ROSATO e ROSATO (1987), p. 597.</p> <p>“A espessura de parede de peças plásticas, para a maioria dos materiais, deve situar-se abaixo de 5 milímetros, preferencialmente em torno de 3 milímetros.” ROSATO e ROSATO (1987), p. 624.</p>	<p>Evitar espessura de parede muito grande.</p>	<p>Qualidade / Tempo / Custos</p>	<p>Produção do componente</p>
<p>“O rechupe associado ao número de nervuras pode ser grande. Na prática, a espessura de nervuras é tipicamente de 40 a 80% da espessura de parede a qual está associada, com raio de concordância de 25 a 40% da espessura de parede.” MALLOY (1994), p. 67.</p> <p>“Se o aparecimento de rechupes na superfície é indesejável, a espessura e o raio de concordância devem ser proporcionais.” ROSATO e ROSATO (1987), p. 591.</p> <p>“A espessura da base da nervura deve ser igual a metade da espessura da parede adjacente. Em áreas onde a resistência mecânica é mais importante que a aparência ou com materiais de pequena contração, nervuras podem ser de 75% ou mesmo 100% da espessura da parede.” ROSATO e ROSATO (1987), p. 624.</p>	<p>Nervuras devem ter espessura de 40 a 80% da espessura de parede adjacente, com raio de concordância de 25 a 40% da espessura de parede.</p>	<p>Qualidade</p>	<p>Produção do componente</p>

Tabela A2 - Regras de projeto para componentes de plástico injetados (continuação).

CITAÇÃO	REGRA	AÇÃO DA MEHORIA	FASE RELACIONADA
<p>“Ângulos de saída reduzem a força de extração e, por conseguinte, simplificam o projeto do sistema de extração, o que auxilia também na redução do tempo do ciclo de injeção por permitir a localização de dutos de refrigeração adicionais” MALLOY (1994), p. 90.</p> <p>“É desejável que todas as paredes verticais de um produto moldado tenham ângulo de saída para permitir a fácil remoção do molde” ROSATO e ROSATO (1987) p. 600.</p>	Sempre que possível considerar ângulo de extração no projeto da peça.	Qualidade Tempo	Produção do componente
<p>“Na maioria dos casos, o ângulo de extração adotado na cavidade é o mesmo do macho. Isto é geralmente considerado uma boa prática, uma vez que resulta em espessura de parede uniforme” MALLOY (1994), p. 91.</p>	Utilizar o mesmo ângulo de extração na cavidade e no macho do molde.	Qualidade	Produção do componente
<p>“Insertos de metal devem ser evitados se métodos alternativos podem ser aplicados. Se for realmente necessário a aplicação de um inserto, este não deve ter cantos vivos e a espessura de parede que o envolve, deve ser suficiente para que não haja trincas durante o resfriamento.” ROSATO e ROSATO (1987), p. 591.</p>	Evitar a utilização de insertos. Quando necessário, garantir espessura de parede suficiente para envolvê-lo.	Qualidade / Funcional / Custo	Utilização / Produção do componente
<p>“A superfície que for submetida a um carregamento mecânico não deve ter linha de solda. Caso seja inevitável a presença de linha de solda, a máxima tensão admissível deve ser reduzida em, pelo menos, 15%.” ROSATO e ROSATO (1987), p. 603.</p>	Evitar a formação de linhas de solda em superfícies com maior solicitação mecânica.	Funcional	Utilização
<p>“Se possível, deve-se projetar furos com escareamento, para reduzir ou eliminar o potencial de haver rebarbas e trincas” ROSATO e ROSATO (1987), p. 613.</p>	Furos devem ser escareados.	Funcional / Qualidade	Produção do componente
<p>“Preferencialmente oriente as projeções na direção da moldagem ou perpendicularmente à linha de partição. Isto eliminará a necessidade de mecanismos adicionais para extração no molde” BOOTHROYD <i>et al.</i> (1994), p. 355.</p>	As características geométricas da peça (paredes projetadas, furos, nervuras...) devem ser orientadas de modo a possibilitar a abertura do molde sem a necessidade de mecanismos adicionais para a extração.		Fabricação do molde / Produção do componente

APÊNDICE 3

ESTUDO DE CASO: PLANO DE PROJETO

PLANO DE ATIVIDADES DO ESTUDO DE CASO

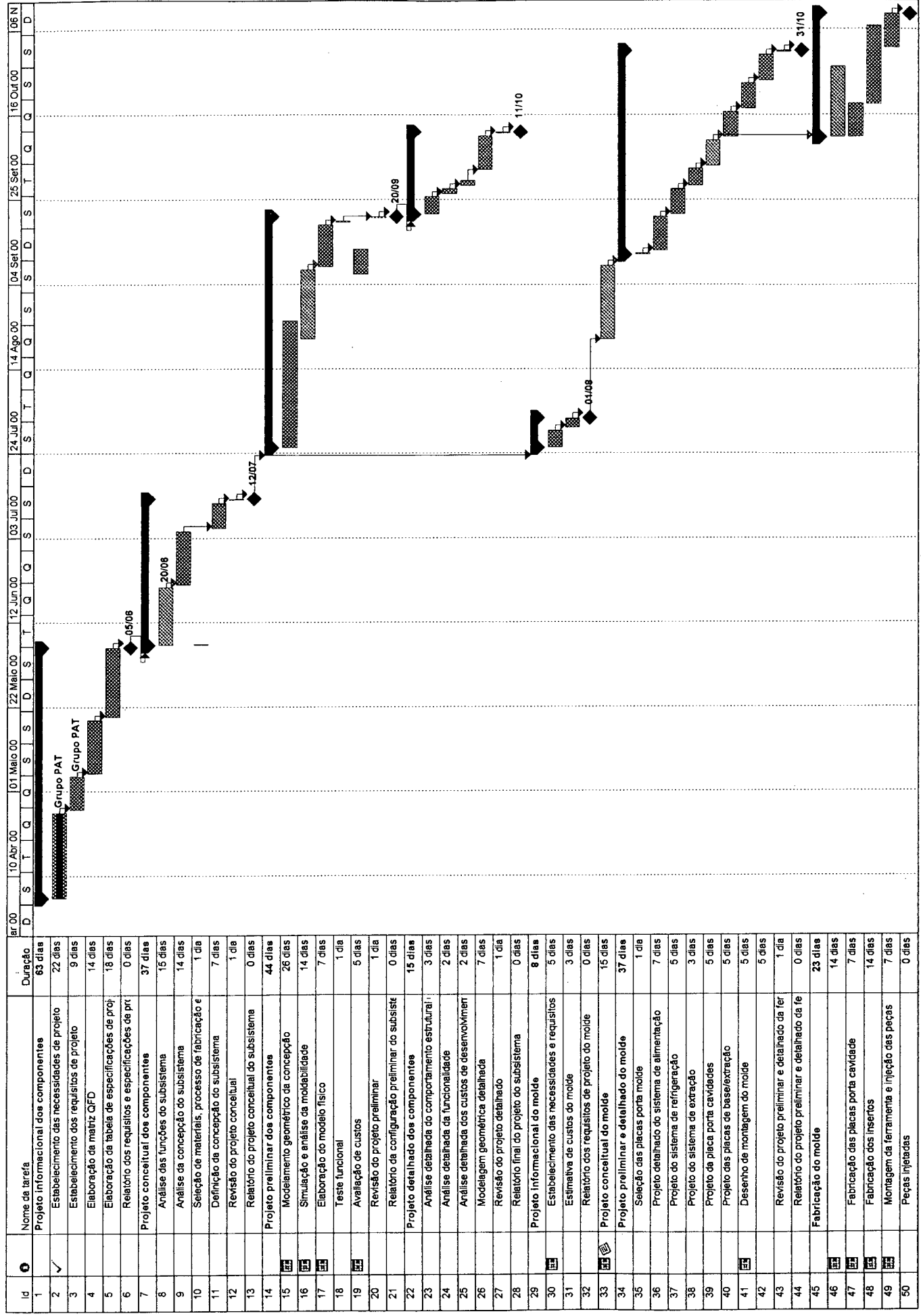
FASE	ATIVIDADES	ENTRADAS	SAÍDAS	MEIOS/RECURSOS	TEMPO
Lançamento do Projeto	Apresentação da proposta e do plano de projeto para a equipe de execução	<ul style="list-style-type: none"> Proposta de projeto Plano de atividades 	<ul style="list-style-type: none"> Entendimento do problema de projeto pela equipe de execução; Visão geral do plano de atividades Definição de dias e carga horária para a realização das atividades planejadas; 	<ul style="list-style-type: none"> Exposição do projeto e do plano para a equipe Discussão da equipe de projeto 	2h
	Estabelecimento das necessidades de projeto das peças de plástico	<ul style="list-style-type: none"> Informações do cliente contratante Equipe de execução Dados gerais do sistema (conhecimento do estado atual do sistema/subsistema) 	<ul style="list-style-type: none"> Relatório das principais necessidades para o projeto das peças contendo as seguintes categorias de informações: <ul style="list-style-type: none"> Objetivos e justificativas do projeto Ciclo de vida do subsistema/peças Clientes do projeto Metas da equipe Recursos necessários (de materiais, do processo de injeção, de conhecimentos, tecnológicos, humanos, de fornecedores, financeiros, etc.) Necessidades técnicas de projeto das peças; Ruídos (perturbações) no ciclo de vida do subsistema/peças; Completo entendimento da tarefa de projeto pela equipe de execução 	<ul style="list-style-type: none"> Exposição do problema pelo contratante; Discussão da equipe de projeto; Dados existentes sobre o sistema/peças; Modelos de ciclo de vida de sistemas técnicos e de clientes do projeto (<i>stakeholders</i>) 	7 dias
Projeto Informacional dos Componentes	Estabelecimento dos requisitos de projeto	<ul style="list-style-type: none"> Relatório das necessidades de projeto Dados técnicos sobre o sistema /subsistema/peças 	<ul style="list-style-type: none"> Relatório dos requisitos de projeto das peças, contendo as seguintes categorias de informações: <ul style="list-style-type: none"> Requisitos dimensionais; Requisitos de esforços; Requisitos de injeção; Requisitos de montagem; Requisitos de custo; Requisitos de operação (cédulas); Requisitos de robustez (influências negativas sobre o sistema/peças); 	<ul style="list-style-type: none"> Casa da qualidade; Discussão da equipe de projeto; Informações gerais sobre o subsistema/peças 	8 dias

Projeto Conceitual dos Componentes				
Análise das funções das peças do subsistema condutor de cédulas	<ul style="list-style-type: none"> Relatórios das necessidades e requisitos de projeto; Documentos e dados técnicos do subsistema/peças; Protótipo do subsistema existente 	<ul style="list-style-type: none"> Relatório da estrutura funcional das peças do subsistema; Identificação das funções críticas das peças; 	<ul style="list-style-type: none"> Análise das necessidades e requisitos de projeto; Método de síntese funcional; Observação e abstração dos dados e documentos do subsistema/peças; Discussão da equipe de projeto; 	7 dias
Análise da concepção das peças do subsistema condutor de cédulas	<ul style="list-style-type: none"> Relatório da estrutura funcional das peças Documentos e dados técnicos do subsistema/peças; Protótipo do subsistema existente 	<ul style="list-style-type: none"> Matriz morfológica de princípios de solução para as peças do subsistema; Identificação de soluções conceituais críticas; Propostas de novos princípios de solução; Soluções conceituais recomendadas para as peças do subsistema. 	<ul style="list-style-type: none"> Matriz morfológica; Analogias, <i>Brainstorming</i>; Discussão da equipe de projeto; Dados técnicos existentes sobre o sistema/subsistema/peças; 	6 dias
Seleção de materiais, processo de fabricação e ferramenta	<ul style="list-style-type: none"> Relatórios das necessidades e requisitos de projeto; Matriz morfológica de princípios de solução para as peças do subsistema; 	<ul style="list-style-type: none"> Soluções conceituais sobre os materiais processo e ferramentas na forma de informações complementares na matriz morfológica 	<ul style="list-style-type: none"> Matriz morfológica; Discussão da equipe de projeto; Dados técnicos existentes sobre o sistema de produção; Catálogos de fornecedores de materiais; Catálogos do equipamento de injeção. 	1 dia
Definição da concepção das peças do subsistema condutor de cédulas	<ul style="list-style-type: none"> Relatórios das necessidades e requisitos de projeto; Matriz morfológica de princípios de solução para as peças do subsistema; Soluções conceituais sobre os materiais processo e ferramentas na forma de informações complementares na matriz morfológica 	<ul style="list-style-type: none"> Concepção selecionada para as peças do subsistema incluindo tipo de material, processo e ferramenta 	<ul style="list-style-type: none"> Julgamento da viabilidade, Disponibilidade tecnológica, Exame passa/não passa, Matriz de decisão; Discussão da equipe de projeto; Dados técnicos existentes sobre o sistema de produção; Catálogos de fornecedores de materiais; Catálogos do equipamento de injeção. 	6 dias
Revisão do processo de projeto conceitual	<ul style="list-style-type: none"> Concepção selecionada para as peças do subsistema incluindo tipo de material, processo e ferramenta; Resultados das atividades do projeto conceitual; Critérios de revisão 	<ul style="list-style-type: none"> Análise crítica de cada atividade do projeto conceitual, destacando pontos fortes e fracos; Decisões e diretrizes para proceder no projeto preliminar das peças e projeto conceitual da ferramenta; Aprendizado da equipe sobre o processo de concepção e entendimento geral da concepção estabelecida. 	<ul style="list-style-type: none"> Atividade sistemática de revisão por parte da equipe de projeto; Modelos de critérios para avaliação 	1 dia

Projeto Preliminar dos Componentes					
Modelamento geométrico da concepção das peças	<ul style="list-style-type: none"> Esquema da concepção selecionada para as peças 	<ul style="list-style-type: none"> Modelo geométrico 3D das peças em arquivo CAD 	<ul style="list-style-type: none"> Modelador geométrico (SolidWorks) 	9 dias	
Simulação do comportamento estrutural e da moldabilidade das peças	<ul style="list-style-type: none"> Modelo geométrico 3D das peças em arquivo CAD e dados sobre as condições de contorno (carregamentos, restrições); Condições de contorno e ponto de injeção; Propriedades dos materiais 	<ul style="list-style-type: none"> Estado de tensões e deformações das peças; Distribuição de temperatura; Distribuição das pressões; Posicionamento dos canais de injeção 	<ul style="list-style-type: none"> Programa de simulação Moldflow Programa de análise Ansys 	10 dias	
Análise da simulação do comportamento estrutural e da moldabilidade das peças	<ul style="list-style-type: none"> Estado de tensões e deformações das peças; Distribuição de temperatura; Distribuição das pressões; Posicionamento dos canais de injeção 	<ul style="list-style-type: none"> Pareceres sobre o comportamento estrutural e moldabilidade das peças; Decisões e diretrizes para proceder nas demais atividades do projeto; Decisões e diretrizes para o projeto conceitual e preliminar da ferramenta 	<ul style="list-style-type: none"> Atividade de grupo; Dados técnicos e modelos existentes 	3 dias	
Elaboração do modelo físico por prototipagem rápida	<ul style="list-style-type: none"> Modelo geométrico 3D das peças aprovadas; 	<ul style="list-style-type: none"> Modelo físico das peças do subsistema 	<ul style="list-style-type: none"> Equipamento de prototipagem rápida - estereolitografia 	8 dias	
Teste funcional das peças	<ul style="list-style-type: none"> Modelo físico das peças; Protótipo do sistema existente 	<ul style="list-style-type: none"> Pareceres sobre a funcionalidade das peças funcionamento, montagem, manutenção, confiabilidade. 	<ul style="list-style-type: none"> Atividade de equipe; Suporte para teste (hardware e software) 	1 dia	
Avaliação de custos das peças	<ul style="list-style-type: none"> Dados geométricos das peças Dados do processo de injeção; Dados da ferramenta; Dados sobre os materiais 	<ul style="list-style-type: none"> Pareceres sobre os custos estimados das peças 	<ul style="list-style-type: none"> Programa para avaliação de custos (Injection Molding 2.0) Atividade de equipe; 	5 dias	
Revisão do processo de projeto preliminar	<ul style="list-style-type: none"> Configuração preliminar para as peças, incluindo dados do material, processo e ferramenta; Critérios de revisão 	<ul style="list-style-type: none"> Análise crítica de cada etapa do projeto preliminar, destacando pontos fortes e fracos; Decisões e diretrizes para o projeto detalhado das peças e projeto da ferramenta; Aprendizado da equipe sobre o processo de projeto preliminar das peças 	<ul style="list-style-type: none"> Atividade sistemática de revisão por parte da equipe de projeto; Modelos de critérios para avaliação 	1 dia	

Projeto Detalhado dos Componentes				
Análise detalhada do comportamento estrutural e da moldabilidade das peças	<ul style="list-style-type: none"> • Configuração preliminar das peças, incluindo dados do material, processo e ferramenta; • Resultados da simulação do comportamento estrutural e da moldabilidade das peças; • Pareceres sobre a integridade estrutural e moldabilidade das peças; • Pareceres sobre a funcionalidade das peças; • Estimativa de custos peças; • Decisões e diretrizes para proceder no projeto detalhado das peças. 	<ul style="list-style-type: none"> • Parecer final sobre a integridade estrutural e moldabilidade das peças 	<ul style="list-style-type: none"> • Atividade de grupo • Dados técnicos e modelos existentes • Ferramentas de modelamento e análise (SolidWorks, MoldFlow, Ansys) 	3 dias
Análise detalhada dos custos de desenvolvimento das peças	<ul style="list-style-type: none"> • Estimativa de custos das peças; • Parecer final sobre a integridade estrutural e moldabilidade das peças 	<ul style="list-style-type: none"> • Parecer final sobre os custos de produção das peças 	<ul style="list-style-type: none"> • Atividade de grupo • Dados técnicos e modelos existentes 	2 dias
Modelagem geométrica detalhada das peças	<ul style="list-style-type: none"> • Configuração preliminar para as peças; • Pareceres finais sobre a integridade estrutural, moldabilidade e custos das peças 	<ul style="list-style-type: none"> • Documentação técnica final das peças; • Aprovação do projeto; • Diretrizes para a programação da produção 	<ul style="list-style-type: none"> • Atividade de grupo • Dados técnicos e modelos existentes; • Ferramenta de CAD (SolidWorks) 	7 dias
Revisão do processo de projeto detalhado	<ul style="list-style-type: none"> • Documentação técnica final do subsistema • Aprovação do projeto • Critérios de revisão 	<ul style="list-style-type: none"> • Análise crítica de cada etapa do projeto detalhado, destacando pontos fortes e fracos; • Decisões e diretrizes para proceder na produção das peças e projeto detalhado da ferramenta • Aprendizado da equipe sobre o processo de detalhamento das peças e entendimento geral da solução estabelecida. 	<ul style="list-style-type: none"> • Atividade sistemática de revisão por parte da equipe de projeto; • Modelos de critérios para avaliação 	1 dias

Desenvolvimento de subsistema condutor de células e ferramenta de injeção EMC/PAT



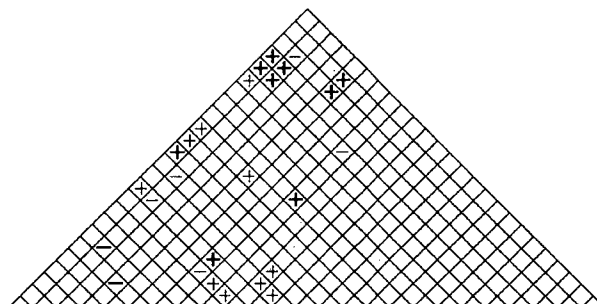
APÊNDICE 4

ESTUDO DE CASO: MATRIZ CASA DA QUALIDADE

PAT – MATRIZ DO QFD

RESULTADO FINAL

Legenda	
(Relacionamento)	Telhado
● Forte 5	♦ Fortemente Positivo 5
⊙ Médio 3	+ Positivo 1
○ Fraco 1	- Negativo -1
	- Fortemente Negativo -5



Req. geom. componente	Req. económicos	Req. de processo
número de feitores	deslocamento rel. peças	volume produção: 100 peças
número de nervuras	custo do material	área projetada
espessura parede const.	custo do processo	índice de fiabilidade
fuga de óleo da célula	custo do molde	
dimensões		
dimensões comp/célula		
deformação permissível		
desgaste no eixo vida		
resistir calor (0-50 C)		
vida útil 5 anos		
compatibilidade 1/12000		
resistir ao ataque químico		
resistir impacto (menul.)		
tempo de montagem		
liberdade dimensional		
laterância de forma		
rugosidade		

O Ques

Condições

Ques	Condições	Req. geom. componente	Req. económicos	Req. de processo
Conjunto guia	geometria	geometria dos componentes simples	●	●
		evitar deflexão do componente	○	○
	qualidade	fácil montagem sistema pressão componente	○	○
		evitar arestas/rebarbas na dir. mov. célula	○	○
custo	minimizar empenamento	○	○	
	acabamento mais liso possível	○	○	
resistência	próximo ao custo atual	○	○	
	evitar desgaste com passagem da célula	○	○	
	boa rigidez e resistência mecânica	○	○	
	resistência térmica	○	○	
Moldagem injeção	processo	fácil moldagem em inserts estereolitografia	○	○
		utilizar equipamentos existentes	○	○
	material	fácil aquisição	○	○
		fácil moldagem	○	○
Operação	uso	insertos conforme dimensões equipamento	○	○
		permitir variações da célula (dimensional)	○	○
		suportar variações condição célula	○	○
	vida útil elevada	○	○	
manutenção	suportar força de atuação dos roletes	○	○	
	fácil acesso no caso de enrosco	○	○	
Descarte	manutenção	minimizar impacto ambiental	○	○

Importância do Requisito

Importância do Requisito (com telhado)

4	170	4	170
3	2612.27	3	177
18	892.81	13	90
21	732.3	20	50
4	2536.2	2	187
23	892.78	21	45
11	1338.24	12	83
12	1286.22	16	63
24	563.13	24	26
8	1684.37	8	117
7	1848.95	9	104
22	720.21	23	30
17	1082.77	14	73
19	925.31	22	39
9	1680.21	5	156
6	2008.93	6	154
13	1239.47	15	72
25	464.08	25	25
15	1124.09	10	102
10	1500.1	7	121
2	3066.21	1	182
5	2136.43	1	191
14	1176.22	18	57
16	1108.68	19	50
20	861.58	17	61

APÊNDICE 5

ESTUDO DE CASO: DOCUMENTO DE ENTRADA DE PROJETO CONCEITUAL

ENTRADA DE PROJETO CONCEITUAL

**PROJETO: DESENVOLVIMENTO INTEGRADO DAS GUIAS DE CONDUÇÃO
PARA UMA MÁQUINA VALIDADORA DE CÉDULA**

ETAPA: PROJETO CONCEITUAL DO COMPONENTE

DATA: 05 / 06 / 2000

1. REQUISITOS DE PROJETO

Enumerados conforme grau de importância obtido através da matriz Casa da Qualidade:

- | | |
|---------------------------------|---|
| 1) Número de features | 15) Custo do material |
| 2) Custo do molde | 16) Área projetada |
| 3) Número de nervuras | 17) Resistir ao impacto (manutenção) |
| 4) Dimensões | 18) Espessura de parede constante |
| 5) Volume de produção 100 peças | 19) Tempo de montagem |
| 6) Tolerância de forma | 20) Índice de Fluidez |
| 7) Confiabilidade | 21) Folga no desvio da cédula |
| 8) Vida útil 5 anos | 22) Resistir ao ataque químico |
| 9) Tolerância dimensional | 23) Dimensões compatíveis com a cédula |
| 10) Custo do processo | 24) Resistir ao calor |
| 11) Deformação permissível | 25) Deslocamento relativos entre as peças |
| 12) Desgaste no ciclo de vida | |
| 13) Rugosidade | |
| 14) Massa injetada | |

2. ESTRATÉGIA DE PROJETO

A leitura das necessidades dos clientes e posterior tradução nos requisitos de projeto listados acima por ordem de importância, deixa claro que o projeto deve ter como orientação básica a obtenção de componentes com **geometria simples, de tamanho reduzido e que implique em baixo custo do molde**. Estes requisitos devem ser priorizados. Empenamento mínimo e confiabilidade também devem ser vistos com prioridade. Considerando as restrições com relação aos equipamentos de fabricação, deve-se também estar atento às limitações da máquina injetora (massa injetada e área projetada), embora estes requisitos não estejam entre os primeiros relacionados.

3. ESPECIFICAÇÕES DE PROJETO

Ver tabela A5

4. RESTRIÇÕES DE PROJETO

4.1. COM RELAÇÃO AO SISTEMA:

- manter o princípio de tracionamento da cédula;
- manter a posição dos furos das laterais do módulo de interface;
- medidas conforme o desenho atual do sistema (maior peça: $c = 115,70$ mm, $l = 88$ mm, $e = 30,55$ mm);
- manter posição do sensor;
- não alterar a posição da barra de reforço, caso ela permaneça.

4.2. COM RELAÇÃO À MANUFATURA

- inserto de estereolitografia: 250x250x250;
- pressão de injeção máxima: 2500 bar;
- máxima força de fechamento: 50 t;
- altura do molde: mín.: 225 mm, máx.: 575 mm (abertura: 350 mm);
- área útil do molde 270x270 mm (152 x 122 mm).

5. RECOMENDAÇÕES DE PROJETO

- espessura mínima de parede: estereolitografia (0,5 mm), injeção (2 - 3 mm), acabamento ($> 2,5$ mm);
- ângulos de saída: 3 - 5 graus;
- raios de arredondamento (não crítico);
- variação máxima da espessura de parede: para nervuras, 0,8 % espessura da peça.

TABELA A5 - ESPECIFICAÇÕES DE PROJETO DO PRODUTO

	REQUISITO DE PROJETO	VALOR	SAÍDA DESEJADA	SAÍDA INDESEJADA
1	Número de features	-	<ul style="list-style-type: none"> - Menor número de features possível - Propiciar facilidade de injeção - Propiciar redução do custo do molde, em função da facilidade de acabamento e da complexidade do mesmo 	<ul style="list-style-type: none"> - Peças mais complexas, implica na possibilidade de gavetas no molde - Dificuldade de preenchimento
2	Custo do molde	R\$ 16.000,00 (para os 4 componentes)	<ul style="list-style-type: none"> - Menor custo - Redução do custo da peça 	<ul style="list-style-type: none"> - Inviabilização do projeto
3	Número de nervuras	-	<ul style="list-style-type: none"> - Menor número de features possível - Propiciar facilidade de injeção - Propiciar redução de custo no molde, em função da facilidade de acabamento e da complexidade do mesmo 	<ul style="list-style-type: none"> - Peças mais complexas pode exigir a presença de gavetas no molde - Dificuldades de preenchimento
4	Dimensões		<ul style="list-style-type: none"> - Adequadas para a fabricação do molde - Adequadas para o sistema 	<ul style="list-style-type: none"> - Incompatíveis com a injetora (capacidade, distância entre colunas) - Incompatível com o sistema
5	Volume de produção	100 peças	<ul style="list-style-type: none"> - Fabricar as 100 peças num único molde 	<ul style="list-style-type: none"> - Fabricação de um novo molde para completar a produção
6	Tolerância de forma	$\pm 1^\circ$ (conforme tabela)	<ul style="list-style-type: none"> - Componente com mínimo empenamento - Boa funcionalidade - Fácil montagem 	<ul style="list-style-type: none"> - Empenamento acima do tolerado - Difícil montagem - Problemas funcionais
7	Confiabilidade	1/12000	<ul style="list-style-type: none"> - Sem falhas 	<ul style="list-style-type: none"> - Evitar erro no uso do equipamento

8	Vida útil	5 anos		<ul style="list-style-type: none"> - Gastos com reposição - Parada do equipamento - Impossibilidade de montagem
9	Tolerância dimensional	Grau médio, conforme desenho		- Cmpatível com o sistema
10	Custo do processo	-		
11	Deformação permissível	0,2 mm		<ul style="list-style-type: none"> - Atender requisitos funcionais - Problemas funcionais (trancar cédula, dificultar funcionamento...)
12	Desgaste no ciclo de vida			<ul style="list-style-type: none"> - Desgaste mínimo - Alto desgaste, comprometendo a funcionalidade do equipamento
13	Rugosidade	Conforme acabamento do molde		<ul style="list-style-type: none"> - Fácil passagem da cédula - Alta rugosidade, comprometendo a funcionalidade dos componentes
14	Massa injetada	89 g (PS)		<ul style="list-style-type: none"> - Preenchimento total do componente - Falhas no preenchimento
15	Custo do material	R\$ 500,00		<ul style="list-style-type: none"> - Material de baixo custo, viabilizando a aquisição pelo projeto
16	Área projetada	130 X 256		<ul style="list-style-type: none"> - Compatível com a capacidade da injetora - Dificuldades de injeção - Defeitos na peça (rebarbas)
17	Resistir ao impacto na manutenção	-		<ul style="list-style-type: none"> - Resistir ao impacto causado pelo fechamento do cash code - Quebra do componente - Gastos com reposição
18	Espessura da parede do componente	2 mm		<ul style="list-style-type: none"> - Fácil fabricação do inserto por estereolitografia - Fácil injeção - Resistência mecânica - Dificuldades de fabricação do inserto - Dificuldades de injeção

19	Tempo de montagem			- Fácil montagem das molas	- Tempo elevado de montagem das molas
20	Índice de fluidez	> 10 g/10 min		- Fácil moldagem - Preenchimento total da peça	- Geometria muito complexa exigindo índice de fluidez muito elevado
21	Folga no desvio da cédula	7°		- Folga suficiente para observar um certo desvio da cédula - Possibilitar passagem da cédula - Desvio mínimo, não prejudicando a funcionalidade	- Trancar a cédula por falta de folga lateral
22	Resistir ao ataque químico	álcool detergente		- Resistir aos produtos de limpeza mais comuns	- Desgaste - Perda de propriedades mecânicas
23	Dimensões compatíveis com a cédula	Real: 63,5- 65x140 e = 0,1 - 0,15 Dólar: 66x156 e = 0,5 - 0,15		- Largura das peças adequadas - Compatível com variações da cédula	- Trancar a cédula - Elevado atrito nas laterais
24	Resistir ao calor	0 – 50° C		- Manter propriedades mecânicas	- Alteração das propriedades mecânicas
25	Deslocamento relativo da peça			- Permitir fácil acesso no caso de enrosco - Fechamento automático no momento em que o cash code é fechado	- Ruptura da peça no momento em que o cash code é fechado - Dificuldades de acesso