



**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**  
**CAMPUS DE CURITIBA**  
**DEPARTAMENTO DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA**  
**E DE MATERIAIS - PPGEM**

**JOEL RODRIGUES DE AMORIM**

**SISTEMÁTICA PARA FRESAMENTO E MONTAGEM**  
**DE POSTIÇOS EM INSERTOS POLIMÉRICOS PARA**  
**MOLDES-PROTÓTIPO**

**CURITIBA**

**AGOSTO - 2006**

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

**JOEL RODRIGUES DE AMORIM**

**SISTEMÁTICA PARA FRESAMENTO E MONTAGEM  
DE POSTIÇOS EM INSERTOS POLIMÉRICOS PARA  
MOLDES-PROTÓTIPO**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia, do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais, Área de Concentração em Engenharia de Manufatura, do Departamento de Pesquisa e Pós-Graduação, do Campus de Curitiba, da UTFPR.

**Orientador:** Prof. Neri Volpato, Ph.D.

**CURITIBA**

**AGOSTO - 2006**

## TERMO DE APROVAÇÃO

JOEL RODRIGUES DE AMORIM

# SISTEMÁTICA PARA FRESAMENTO E MONTAGEM DE POSTIÇOS EM INSERTOS POLIMÉRICOS PARA MOLDES-PROTÓTIPO

Esta Dissertação foi julgada para a obtenção do título de mestre em engenharia, área de concentração em engenharia de manufatura, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais.

---

Prof. Silvio Junqueira, D. Sc.  
Coordenador de Curso

### Banca Examinadora

---

Prof. Carlos Henrique Ahrens, Dr. Eng.  
(UFSC)

---

Prof. Carlos Cziulik, Ph. D.  
(UTFPR)

---

Prof. José Aguiomar Foggiatto, Dr. Eng.  
(UTFPR)

---

Prof. Neri Volpato, Ph. D.  
Orientador (UTFPR)

Curitiba, 18 de Agosto de 2006

Dedico este trabalho a minha noiva  
Alessandra, meu grande amor.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus que me deu o dom da vida, a saúde e a perseverança que me foram necessárias ao longo desta jornada.

A minha amada Alessandra que do início ao fim deste projeto sempre acreditou na minha capacidade e me incentivou nas horas que eu mais precisei de apoio. Ale, esta conquista também é sua.

Agradeço muitíssimo ao meu Pai, a minha Mãe e aos meus irmãos (Dico e Jessé) que me proporcionaram um lar seguro e tranqüilo a cada volta para casa. Serei grato eternamente a todos vocês.

Ao meu orientador, Professor Neri Volpato, que sempre esteve disposto a me mostrar o caminho correto, principalmente nos momentos difíceis em que eu não sabia por onde seguir.

A todos os meus amigos e em especial ao Isra, ao Mário Vitor, ao Otávio e o Professor Carlos Cziulik que depositaram total confiança em mim o que me serviu de combustível para chegar até aqui.

Agradeço também a todo o pessoal do NUFER e entre estes um obrigado especial ao Lucas que me ajudou em muito durante as diversas fases deste trabalho, e ao Professor Foggiatto pelo incentivo que sempre prestou.

A CAPES pelo apoio financeiro e ao PPGEM e a UTFPR pela estrutura que me foi cedida.

Não posso deixar de mencionar algumas empresas e instituições como o SENAI-PR que possibilitou a realização de alguns dos experimentos práticos em seus laboratórios. A Moldesign, em nome do senhor Jair que me auxiliou, por diversas vezes, em questões técnicas relacionadas a esta pesquisa e a Electrolux, em nome do senhor Gerber, que forneceu o material para a realização dos ensaios.

Por fim, agradeço a todos que de alguma forma contribuíram direta ou indiretamente para a conclusão deste trabalho.

“Nós somos o que nós repetidamente  
fazemos. Excelência então, não é um  
ato, mas um hábito”.

Aristóteles

AMORIM, Joel Rodrigues de, **Sistemática para Fresamento e Montagem de Postiços em Insertos Poliméricos para Moldes-Protótipo**, 2006, 139 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

## RESUMO

A usinagem CNC (*Computer Numeric Control*), mais especificamente o processo de fresamento, tem sido empregada para desenvolvimento de Ferramental Rápido (RT, de *Rapid Tooling*) devido à precisão dimensional e ao bom acabamento superficial que ela possibilita. Além disso, com o auxílio de sistemas CAD/CAM (*Computer Aided Design e Manufacturing*) e materiais de fácil usinabilidade, como algumas resinas poliméricas, é possível obter os insertos em um tempo menor. Todavia, são observadas dificuldades, principalmente, na usinagem de formas geométricas que não são possíveis de serem obtidas pela ferramenta de corte, tais como cantos retos, canais profundos e pouco espessos e regiões de contra-saída. Como forma de solucionar estas dificuldades, este trabalho propõe o emprego de uma sistemática para dividir estas regiões em outras mais simples para que possam ser usinadas como postiços. Neste caso, os postiços poderão ser fixos para algumas regiões e removíveis, funcionando como gavetas, para aquelas que impedem a extração do moldado. Para que isto ocorra, os postiços são projetados em um sistema CAD, usinados com o auxílio de um sistema CAM e um centro de usinagem CNC e montados nos insertos para a injeção dos protótipos. Como forma de testar esta proposta, foram projetados e fabricados insertos e postiços em resina para duas peças com geometrias diferentes. Os protótipos foram injetados e verificado o comportamento dos postiços durante a injeção. Foram realizados testes adicionais com usuários diferentes e com peças que necessitavam de uma grande quantidade de postiços para verificar o comportamento desta idéia. Apesar de algumas dificuldades encontradas, os resultados indicam que a sistemática proposta pode ser usada na obtenção dos insertos.

**Palavras-chave:** Ferramental Rápido; Usinagem CNC; Postiços.

## ABSTRACT

Computer Numeric Control machining (CNC), more specifically the milling process, has been used used for Rapid Tooling (RT) because of its ability to produce adequate dimensional accuracy and superficial finishing. Moreover, with the aid of CAD/CAM systems (Computer Aided Design and Manufacturing) and easily machineable materials, such as some polymeric resins, it is possible to obtain inserts in a short period of time. However, some problems are observed in machining, mainly in geometric forms that can not be obtained from tools, such as corners, deep slots and thin and undercut regions. To minimize these difficulties, this study proposes the use of a systematic process to split these areas in to simple regions that can then be machined as small inserts. In this case, the small inserts can be fixed to certain regions or, if this hinders the ejection process, they can be mobile, functioning as slides. To do this, the small inserts are designed in the CAD system, machined with the aid of the CAM system in a machining center and mounted on large inserts, allowing for prototype injection. To test this proposal, inserts and small inserts were designed in resin for two different parts with different geometries. After injecting the prototypes, the behavior of the small inserts during the injection process was verified. To further verify these results, additional tests were conducted with different users and with parts which required a large number of small inserts. Although some difficulties were found, results indicate that the systematic process proposal can be used to produce the inserts.

**Keywords:** Rapid Tooling; CNC Machining; Small Inserts.

## SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS .....	iv
RESUMO.....	vi
ABSTRACT.....	vii
SUMÁRIO .....	viii
LISTA DE FIGURAS .....	xi
LISTA DE TABELAS.....	xv
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	xvi
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1 Definição do Problema.....	3
1.2 Hipótese .....	4
1.3 Objetivos .....	4
1.3.1 Objetivo Geral.....	4
1.3.2 Objetivos Específicos .....	5
1.4 Organização do Trabalho.....	5
<b>2 TECNOLOGIAS EMPREGADAS NA FABRICAÇÃO DE PROTÓTIPOS DURANTE O PDP .....</b>	<b>6</b>
2.1 O Processo de Injeção.....	6
2.2 O Protótipo Durante o PDP .....	11
2.3 Tipos de Protótipos.....	14
2.4 Prototipagem Rápida (RP) .....	16
2.5 Ferramental Rápido (RT) .....	20
2.6 Ferramental Rápido Usinado (RT Usinado).....	22
2.6.1 Materiais para a Fabricação de RT Usinado - Resinas Poliméricas .....	25
2.6.2 O Emprego de Sistemas CAD/CAM no Projeto de Moldes de Injeção .....	28
2.6.3 O Emprego do CNC na Fabricação de Moldes de Injeção .....	31
2.7 Discussão .....	34
<b>3 PROPOSTA DE UMA SISTEMÁTICA PARA A FABRICAÇÃO DE FERRAMENTAL RÁPIDO USINADO UTILIZANDO SOMENTE O PROCESSO DE FRESAMENTO .....</b>	<b>36</b>
3.1 Uma Visão Geral da Proposta.....	36
3.2 Descrição das Etapas Envolvidas na Sistemática Proposta.....	38
3.2.1 Etapa de Projeto.....	38
3.2.2 Etapa de Planejamento do Processo de Usinagem .....	44
3.2.3 Etapa de Fabricação .....	46
3.2.4 Etapa de Injeção.....	48

3.3	Requisitos para Aplicação da Sistemática.....	49
<b>4</b>	<b>ESTUDOS DE CASO PARA A VALIDAÇÃO DA SISTEMÁTICA .....</b>	<b>51</b>
4.1	Estudo de caso 1.....	51
4.1.1	Apresentação da Geometria e dos Insertos .....	51
4.1.2	Recursos Utilizados no Estudo de Caso 1 .....	55
4.2	Estudo de Caso 2.....	57
4.2.1	Apresentação da Geometria e dos Insertos .....	58
4.3	Estudo de Caso 3 - Avaliação da Etapa de Projeto por Outros Usuários .....	60
4.3.1	Escolha dos Colaboradores e Treinamento Inicial para o Estudo de Caso 3.....	60
4.4	Estudo de Caso 4.....	61
4.4.1	Apresentação das Geometrias e dos Insertos .....	61
<b>5</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>64</b>
5.1	Estudo de Caso 1.....	64
5.1.1	Etapa de Projeto.....	64
5.1.2	Etapa de Planejamento do Processo de Usinagem .....	66
5.1.3	Etapa de Fabricação .....	68
5.1.4	Etapa de Injeção.....	70
5.2	Estudo de Caso 2.....	72
5.2.1	Etapa de Projeto.....	72
5.2.2	Etapa de Planejamento de Processo de Usinagem .....	74
5.2.3	Etapa de Fabricação .....	76
5.2.4	Etapa de Injeção.....	78
5.3	Estudo de Caso 3.....	80
5.3.1	Postiços Gerados pelo Colaborador 1 .....	80
5.3.2	Postiços Gerados pelo Colaborador 2 .....	81
5.3.3	Postiços Gerados pelo Colaborador 3 .....	83
5.4	Estudo de Caso 4.....	83
<b>6</b>	<b>DISCUSSÕES E CONCLUSÕES.....</b>	<b>89</b>
6.1	Discussões .....	89
6.1.1	Estudo de Caso 1 .....	89
6.1.2	Estudo de Caso 2 .....	91
6.1.3	Estudo de Caso 3 .....	92
6.1.4	Estudo de Caso 4 .....	93
6.2	Conclusões .....	94
6.3	Sugestões para Trabalhos Futuros .....	96

PRODUÇÃO CIENTÍFICA NO PERÍODO (Março 2004 – Março 2006) .....	97
REFERÊNCIAS.....	98
APÊNDICE A – PROCEDIMENTOS DA SISTEMÁTICA.....	105
ANEXO A – MÉTODO <i>SHORT SHOT</i> .....	120

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Representação esquemática do macho, fêmea e cavidade.....	7
Figura 2.2 - Principais peças de um porta-molde (HARADA, 2004). .....	7
Figura 2.3 - Funcionamento do sistema de gaveta (ROSATO <i>et al.</i> , 2000). .....	10
Figura 2.4 – Conceito de postiços para simplificar o processo de fabricação.....	11
Figura 2.5 - Escala de crescimento dos custos de retrabalho durante as fases do PDP (ALVES JÚNIOR, 2003).....	13
Figura 2.6 - Etapas da fabricação de protótipos pela tecnologia de RP. ....	17
Figura 2.7 - Problema dimensional ocasionado pelo efeito escada.....	18
Figura 2.8 - Arquivo STL com 1mm de tolerância (a) e com 0,1mm (b) .....	19
Figura 2.9 - Etapas para a fabricação de um molde de silicone (Adaptado de MALLOY, 1994). .....	21
Figura 2.10 - Exemplo de um molde tipo “quebra-cabeça” (PROTOFORM, 2004). ..	23
Figura 2.11 – Exemplo de Insertos (a) e hélice injetada (b) (YANG e RYU, 2001)....	26
Figura 2.12 - Resultados dos ensaios de usinagem (LANZ <i>et al.</i> , 2002). .....	27
Figura 2.13 - Comparação entre a usinagem convencional (a) e a usinagem HSM de moldes de injeção (Adaptado de SANDVIK, 2003). .....	32
Figura 2.14 - Velocidades de corte em HSM para alguns materiais (ALTAN <i>et al.</i> , 1998).....	33
Figura 2.15 - Exemplos de usinagem cinco eixos (COOLE <i>et al.</i> , 2001). .....	34
Figura 2.16 - Diferença entre usinagem três e cinco eixos (COOLE <i>et al.</i> , 2001).....	34
Figura 3.2 - Exemplo de funcionamento de um posticho removível. ....	38
Figura 3.3 - Regiões dos postiços. ....	41
Figura 3.4 - Montagem dos postiços no bloco para usinagem única.....	44
Figura 3.5 – Distância entre os postiços na base para a usinagem única.....	45
Figura 3.6 - Opções de posicionamento do zero-peça. ....	46

Figura 3.7 - Indicação das regiões de lixamento no posticho. ....	47
Figura 4.1 - Geometria da peça 1. ....	52
Figura 4.2 - Inseto macho (a) e inseto fêmea (b) da peça 1.....	53
Figura 4.3 - Porta-molde utilizado para a injeção dos protótipos. ....	57
Figura 4.4 - Lado externo (a) e lado interno (b) da peça 2. ....	58
Figura 4.5 - Insetos macho (a) e fêmea (b) gerados para a peça 2. ....	59
Figura 4.6 - Lado externo (a) e lado interno (b) da geometria da peça 3.....	62
Figura 4.7 - Geometria da peça 4. ....	62
Figura 4.8 - Inseto macho (a) e inseto fêmea (b) para a peça 3.....	63
Figura 4.9 - Inseto macho (a) e inseto fêmea (b) para a peça 4.....	63
Figura 5.1 - Regiões problemáticas do inseto macho (a) e do inseto fêmea (b).....	65
Figura 5.2 - Postiços criados para os insetos macho (a) e fêmea (b). ....	65
Figura 5.3 - Funcionamento do posticho removível na peça teste.....	65
Figura 5.4 - Extração do posticho sem auxílio de extratores.....	66
Figura 5.5 - Alojamentos criados nos insetos macho (a) e fêmea (b). ....	66
Figura 5.6 - Disposição dos postiços da peça 1 para a usinagem.....	67
Figura 5.7 - Posicionamento para a primeira (a) e segunda usinagem (b) dos postiços da peça 1.....	68
Figura 5.8 – Lixamento da região de ajuste para os postiços da peça 1.....	69
Figura 5.9 – Inseto macho (a) e Inseto fêmea (b) com os postiços. ....	69
Figura 5.10 – Folgas entre os postiços do inseto fêmea. ....	70
Figura 5.11 – Posticho removível sendo extraído junto com o protótipo.....	71
Figura 5.12 – Rebarbas (a) e inclinação da parede da nervura (b) nos protótipos da peça 1.....	71
Figura 5.13 - Regiões problemáticas no inseto macho da peça <i>mouse</i> . ....	73
Figura 5.14 - Perfis para os recortes dos postiços 1, 2 e 3. ....	73

Figura 5.15 - Postiços (a) e alojamentos (b) criados para o inserto macho. ....	74
Figura 5.16 - Disposição dos postiços da peça 2 para a usinagem.....	75
Figura 5.17 - Posicionamento para a primeira usinagem (a) e para a segunda (b) dos postiços da peça 2.....	75
Figura 5.18 - Inserto fêmea (a) e inserto macho com os postiços (b). ....	77
Figura 5.19 - Postiços com regiões do problemáticas do tipo I após a usinagem.....	77
Figura 5.20 - Folgas verificadas entre os postiços removíveis e os alojamentos. ....	77
Figura 5.21 - Fechamento para os insertos da peça 2.....	78
Figura 5.22 - Lado externo (a) e interno (b) de um dos protótipos injetados para a peça 2 .....	79
Figura 5.23 - Problemas verificados nos protótipos injetados. ....	79
Figura 5.24 - Trinca no canal de injeção do inserto macho.....	80
Figura 5.25 - Postiços (a) e alojamentos (b) definidos pelo colaborador 1.....	80
Figura 5.26 - Problemas verificados nos postiços 1 e 3. ....	81
Figura 5.27 - Postiços definidos pelo colaborador 2 (a) e alojamentos criados (b)....	82
Figura 5.28 - Postiços criados para formar os cliques.....	82
Figura 5.29 - Postiços definidos pelo colaborador 3.....	83
Figura 5.30 - Regiões problemáticas no inserto macho da peça 3. ....	84
Figura 5.31 - Região problemática no inserto fêmea da peça 4.....	84
Figura 5.32 - Regiões problemáticas no inserto macho da peça 4, vista 1 (a) e vista 2 (b). ....	85
Figura 5.33 - Postiços criados para o inserto macho da peça 3 (a) e o alojamento gerado (b).....	85
Figura 5.34 - Solução 1 (a) e solução 2 (b) para a geração de postiços para o inserto fêmea.....	86
Figura 5.35 - Postiços gerados para o inserto macho da peça 4 (a) e (b). ....	87
Figura 5.36 - Problema verificado com os postiços 2 e 14 montados na base.....	87

Figura 5.37 - Opção criada para a usinagem dos postigos 1 e 11 (a) e 2 e 14 (b). ...88

Figura 5.38 - Postigos do inserto macho da peça 4 extraídos junto com o moldado.88

## LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Limitações geométricas para a usinagem por fresamento em 3 eixos. .39	39
Tabela 3.2 - Sugestões de formatos para posições. ....42	42
Tabela 3.3 - Requisitos para o emprego da sistemática.....50	50
Tabela 4.1 - Sumário dos passos da sistemática.....54	54
Tabela 4.2 - Recursos utilizados no estudo de caso 1.....56	56
Tabela 4.3 - Perfil dos colaboradores que testaram a etapa de Projeto. ....61	61
Tabela 5.1 - Seqüência definida para a fabricação dos insertos e dos posições da peça 1.....68	68
Tabela 5.2 – Parâmetros utilizados na injeção dos protótipos da peça 1.....70	70
Tabela 5.3 - Parâmetros utilizados na injeção dos protótipos da peça 2.....79	79

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

2D	Bidimensional
3D	Tridimensional
CAD	<i>Computer Aided Design</i> (Projeto Auxiliado por Computador)
CAE	<i>Computer Aided Engineering</i> (Engenharia Auxiliada por Computador)
CAM	<i>Computer Aided Manufacturing</i> (Manufatura Auxiliada por Computador)
CIMJECT	Laboratório de Projeto e Fabricação de Componentes de Plástico Injetados
CNC	<i>Computer Numeric Control</i> (Controle Numérico Computadorizado)
DFM	<i>Design for Manufacturing</i> (Projeto para a Manufatura)
DNC	<i>Direct Numerical Control</i> (Controle Numérico Direto)
GPS	<i>Global Positioning System</i> (Sistema de Posicionamento Global)
HSM	<i>High Speed Machining</i> (Usinagem a Alta Velocidade)
IGES	<i>Initial Graphics Exchange Specification</i>
NUFER	Núcleo de Prototipagem e Ferramental
NURBS	<i>Non Uniform Rational B-Splines</i>
PDP	Processo de Desenvolvimento do Produto
PP	Polipropileno
RP	<i>Rapid Prototyping</i>
RT	<i>Rapid Tooling</i>
SLS	<i>Selective Laser Sintering</i> (Sinterização Seletiva a Laser)
STEP	<i>Standard for Exchange of Product Data</i>
STL	STereoLithography
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
VDA	<i>Verband der Automobilindustrie</i>

# 1 INTRODUÇÃO

Durante a fase de projeto no Processo de Desenvolvimento de um Produto (PDP), as equipes de desenvolvimento são incumbidas de criar ou atualizar um produto já existente, fazendo com que o mesmo desempenhe de forma satisfatória as suas funções. As principais características do novo produto precisam ser projetadas de forma rápida para que o mesmo possa ser inserido no mercado antes de seus concorrentes. É possível assim, se obter ganhos financeiros maiores uma vez que o novo produto permanecerá sozinho no mercado até a chegada de outros similares. Segundo HARTLEY (1998), o tempo gasto durante cada uma das fases que compõem o PDP (desde as primeiras concepções até o efetivo lançamento) é conhecido como *time to market*. A diminuição deste tempo é um dos principais desafios que as empresas que desenvolvem produtos tem se deparado atualmente. Uma das formas encontradas para acelerar o PDP, principalmente nas etapas iniciais, tem sido o emprego de tecnologias como CAD/CAE/CAM (*Computer Aided Design, Engineering and Manufacturing*) e metodologias como a Engenharia Simultânea e o DFM (*Design for Manufacturing*).

No caso de produtos obtidos a partir do processo de moldagem por injeção de polímeros (ou injeção de plástico), esta corrida pode ser facilmente observada. É o caso, por exemplo, das indústrias que produzem eletrodomésticos, onde grande parte das peças são fabricadas a partir do processo de injeção e que, em períodos curtos de tempo, novos produtos precisam ser lançados. Muitas vezes, estes produtos não trazem inovações tecnológicas, mas apenas uma reestilização para se adequar às exigências de formas atuais. Mesmo assim, em muitos casos, é importante que as equipes de desenvolvimento tenham informações precisas sobre a resistência mecânica e o funcionamento da nova peça. Com o desenvolvimento das tecnologias de CAD/CAE/CAM, é possível se ter um protótipo virtual para a realização de análises numéricas. Todavia, em alguns casos ainda se faz necessário o uso de protótipos físicos.

Atualmente, uma das alternativas usada para a fabricação de protótipos de peças de plástico, tem sido uma tecnologia conhecida como Prototipagem Rápida (RP, de *Rapid Prototyping*). Esta tecnologia constrói peças pela adição de camadas

que são realizadas a partir de planos paralelos no sentido vertical. Mesmo sendo uma tecnologia que vem se popularizando, a RP apresenta algumas dificuldades principalmente na produção de protótipos funcionais. Dentre elas, a resistência mecânica inferior a uma peça injetada e a pouca variedade de materiais que podem ser utilizados na fabricação dos protótipos, são normalmente citadas na literatura (YAN e GU, 1996 e CHUA *et al.*, 1999). Como o protótipo é construído por camadas, suas propriedades mecânicas são anisotrópicas, diferente do produto que será produzido pelo processo de injeção. Além disso, os materiais usados pela RP nem sempre são os mesmos requeridos no projeto do produto injetado. Estas diferenças podem inviabilizar a aplicação do protótipo em ensaios de engenharia ou mesmo em testes que simulem o seu funcionamento. Outra questão relevante é com relação ao preço dos protótipos. Como o custo de fabricação por RP ainda é alto, a obtenção de uma quantidade maior de peças pode ser muitas vezes economicamente inviável (VOLPATO, 1999).

Uma forma de se obter um protótipo funcional no mesmo material e com as mesmas características do produto projetado é utilizando o mesmo processo de produção, ou seja, obtendo-o através da injeção de plástico. Para que isto seja possível, se faz necessário o uso de uma ferramenta de injeção (ou molde de injeção). Um molde de injeção é uma ferramenta complexa composta por diversas placas de aço e que comporta em seu núcleo os insertos macho e fêmea, responsáveis por dar forma ao produto. Tanto as placas, quanto o macho e a fêmea, são produzidos através da combinação de alguns processos de usinagem (como fresamento, torneamento, mandrilamento, eletroerosão, entre outros) e necessitam de tempo e mão-de-obra especializada para a sua construção. Este fato indica que o uso de um molde de produção para a obtenção de protótipos não é vantajoso na fase de projeto, uma vez que as suas necessidades podem onerar em muito esta etapa. Além disso, se for necessário realizar alguma alteração no produto, comum nesta fase do desenvolvimento, será necessário retrabalhar os insertos ou até mesmo fabricá-los novamente.

Como alternativa ao molde de produção pode ser utilizado um molde-protótipo, com o objetivo de injetar a quantidade de peças necessárias para a realização dos testes ou ensaios. Este tipo de molde é caracterizado pelo uso de materiais que podem ser rapidamente processados, diminuindo o tempo de fabricação da

ferramenta. Entre as tecnologias disponíveis para a sua fabricação está a própria RP e a usinagem CNC (*Computer Numeric Control*), aliada a sistemas CAD/CAM. A área de fabricação de moldes-protótipo vem sendo denominada de Ferramental Rápido (RT, de *Rapid Tooling*), termo que surgiu após o aparecimento das tecnologias de RP. Todavia, além da RP, este termo vem sendo empregado também pela usinagem CNC, que igualmente busca fabricar insertos de maneira rápida (YANG e RYU, 2001, LANZ *et al.*, 2002 e VOLPATO e DERINIEVICKI, 2005). Neste caso, tanto a RP quanto a usinagem CNC, são empregadas na fabricação apenas do macho e da fêmea, que são montados em um porta-molde formando assim a ferramenta para a injeção dos protótipos.

### 1.1 Definição do Problema

Os materiais utilizados para RT devem possibilitar uma fabricação rápida dos insertos, o que no caso da usinagem CNC pode ser traduzido como materiais de fácil usinabilidade. Entre estes, têm-se empregado materiais metálicos como alumínio (HILTON e JACOBS, 2000) e materiais não metálicos como algumas resinas poliméricas (YANG e RYU, 2001, LANZ *et al.*, 2002 e VOLPATO e DERINIEVICKI, 2005). Todavia, a opção pelo uso de resinas acarreta em algumas dificuldades com relação a usinagem de certos detalhes, principalmente por impedir o uso dos processos de eletroerosão (a fio e por penetração) que são comuns na área de ferramentaria. É observado que a fabricação de detalhes como cavidades com formas geométricas que possuam cantos retos, canais com pequenas larguras e grandes profundidades (decorrentes de reforços do produto) e geometrias que necessitam de sistemas mecânicos especiais para serem desmoldadas, são difíceis de serem obtidos pela usinagem por fresamento CNC (RADSTOCK, 1999, e MARTINS *et al.*, 2005). Geralmente, em moldes de produção, estas dificuldades são contornadas pelo uso da eletroerosão e no caso das regiões que não podem ser extraídas, são utilizados sistemas mecânicos conhecidos como gavetas (BLASS, 1988).

As resinas poliméricas são materiais que não conduzem eletricidade, o que inviabiliza o seu uso no processo de eletroerosão. Já no caso dos sistemas de gavetas, a sua utilização em um molde de produção ou em um molde-protótipo,

tende a encarecer a confecção da ferramenta principalmente devido ao seu sistema de acionamento. Antes do surgimento das tecnologias de eletroerosão, as regiões que não eram possíveis de serem fresadas diretamente no molde podiam ser obtidas com o auxílio de postigos. A idéia neste caso é dividir as regiões problemáticas em regiões mais simples de serem fabricadas, usiná-las e depois montar nos insertos para se obter a geometria original (ROSATO *et al.*, 2000).

Apesar da idéia de postigos ser empregada em moldes de produção, o seu uso em moldes-protótipo usinados em resinas, tem sido pouco explorada. Além disso, o projeto e a fabricação dos postigos (mesmo para moldes de produção) é feito muitas vezes levando em consideração apenas a experiência das pessoas envolvidas nestas etapas. Este é um fato que pode acarretar em erros e conseqüentemente em prejuízos ao desenvolvimento do novo produto. Desse modo, acredita-se que seja possível sistematizar as atividades empregadas na obtenção dos postigos, garantindo assim a repetibilidade do processo e a qualidade do molde-protótipo. Para isto, os postigos deverão ser projetados em um sistema CAD/CAM, usinados em um centro de usinagem CNC e por fim, montados nos insertos para se obter a geometria completa da cavidade.

## **1.2 Hipótese**

Como hipótese para este trabalho, acredita-se que seja possível sistematizar as atividades envolvidas atualmente no projeto e na fabricação de postigos para um molde-protótipo.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo Geral**

O objetivo geral deste trabalho é propor uma sistematização das atividades envolvidas atualmente no projeto e na fabricação de postigos para um molde-protótipo. Pretende-se ainda verificar se esta a sistematização permitirá obter postigos que funcionem adequadamente durante a injeção dos protótipos.

### 1.3.2 Objetivos Específicos

- a) Incentivar o uso das tecnologias de CAD/CAM/CNC, que já estão consolidadas no mercado, para a fabricação de insertos para moldes-protótipo em resinas;
- b) Testar o funcionamento dos posições durante o processo de injeção dos protótipos.

### 1.4 Organização do Trabalho

Para uma melhor compreensão deste trabalho, o mesmo está organizado da seguinte forma: no Capítulo 1 foi apresentada uma introdução ao assunto, situando o leitor com o tema a ser tratado e a sua relevância no campo de desenvolvimento de produtos. Ainda neste capítulo, foi apresentada uma hipótese que busca solucionar alguns dos problemas de usinagem em moldes-protótipo e os objetivos que se pretende alcançar com este estudo. Na seqüência, o Capítulo 2 apresenta, na forma de uma revisão bibliográfica, como ocorre o PDP e as principais tecnologias envolvidas no seu uso. A partir da definição do problema no item 1.1, o Capítulo 3 apresenta os passos de uma sistemática criada para o projeto e a fabricação de moldes-protótipo utilizando posições. Já o Capítulo 4 demonstra como foram projetados e realizados os testes que foram empregados para a validação da sistemática proposta. Os resultados obtidos nestes testes são apresentados no Capítulo 5. Por fim, o Capítulo 6 traz a discussão sobre os resultados, as conclusões do trabalho e algumas sugestões para novos estudos que poderão ser realizados nesta área.

## 2 TECNOLOGIAS EMPREGADAS NA FABRICAÇÃO DE PROTÓTIPOS DURANTE O PDP

Este capítulo apresenta inicialmente, na forma de uma revisão bibliográfica, como as peças de plástico são produzidas e como é o funcionamento de um molde de injeção. Em seguida, apresenta-se como o Processo de Desenvolvimento de um Produto (PDP) é realizado e a importância dos protótipos nas fases iniciais da etapa de projeto. As principais tecnologias empregadas para a obtenção dos protótipos são descritas na seqüência, dando uma maior ênfase àquelas utilizadas na fabricação de moldes-protótipo. No final do capítulo é feita uma discussão acerca dos assuntos tratados indicando a lacuna que se pretende preencher com este trabalho.

### 2.1 O Processo de Injeção

A injeção de polímeros é um dos principais processos utilizados na fabricação de peças de plástico (BLASS, 1988). Para dar forma à peça, este processo exige um molde de injeção que pode ser definido como um conjunto de placas (fabricadas em aço carbono), colunas, pinos, buchas, entre outras, que comportam em seu núcleo o macho e a fêmea, responsáveis em formar a cavidade que moldará a peça a ser injetada (Figura 2.1). Segundo SEGAL e CAMPBELL (2001), um molde tem quatro funções: distribuir o polímero fundido, dar forma a este conforme a geometria do macho e da fêmea, resfriá-lo e ejetar a peça moldada. Moldes de injeção podem conter uma ou várias cavidades dependendo da quantidade de peças que se pretende obter a cada ciclo injeção. Independente do número de cavidades, as fases do ciclo de injeção são sempre as mesmas (ROSATO *et al.*, 2000).

Segundo MENGES e MOHREN (1993), o processo de injeção segue as seguintes etapas: com o molde fechado, o material plástico fundido é injetado, percorrendo o canal de alimentação até chegar à cavidade. Nesta região, o material toma o formato da cavidade e é resfriado até a sua solidificação. O molde é então aberto e a peça pronta é extraída da cavidade.

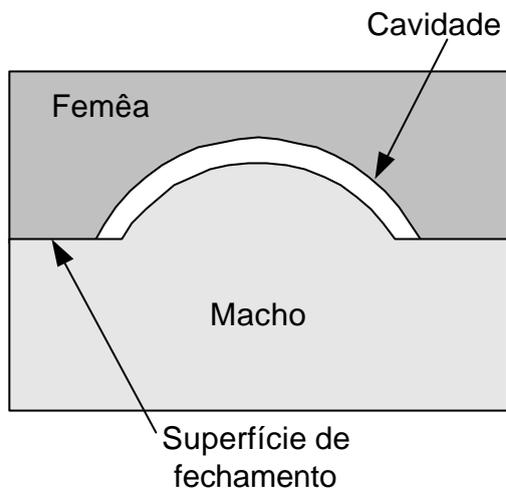


Figura 2.1 - Representação esquemática do macho, fêmea e cavidade.

Na Figura 2.2 é apresentado o desenho esquemático de um porta-molde com os principais componentes e placas que são utilizadas na sua construção.

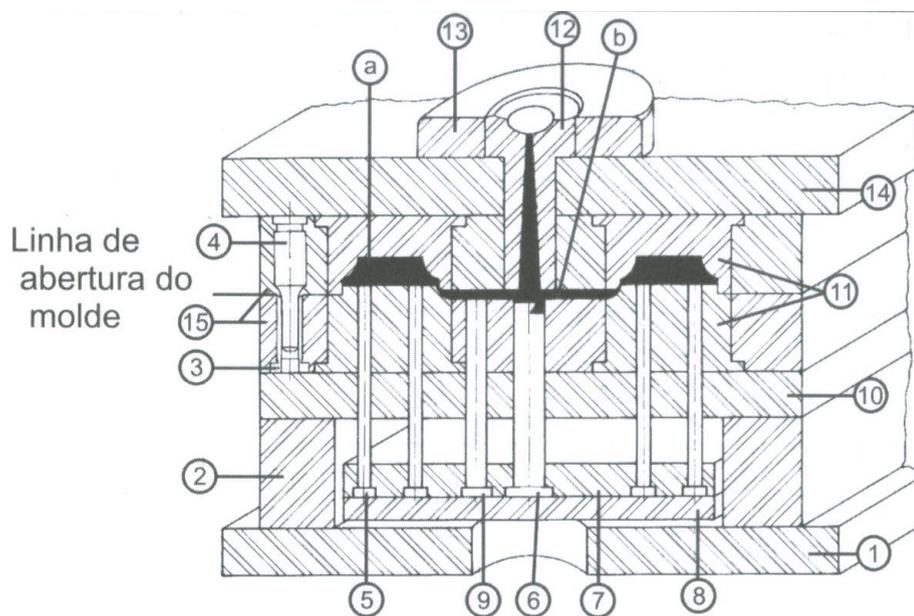


Figura 2.2 - Principais peças de um porta-molde (HARADA, 2004).

O nome e a função dos principais componentes da Figura 2.2 são listados a seguir conforme a nomenclatura utilizada por HARADA (2004):

- a) Placas de fixação inferior (1): também conhecida como placa base, é utilizada para fixar o lado do macho na injetora.
- b) Espaçadores ou calços (2): de maneira geral, formam um “U” definindo o curso máximo de movimento do sistema de extração.
- c) Bucha guia (3): é a bucha que guia as colunas no fechamento das duas partes do molde.
- d) Coluna guia (4): são responsáveis por manter o alinhamento entre as duas metades do molde.
- e) Pinos extratores (5): extraem a peça pronta do molde.
- f) Extrator do canal (6): extrai o material do canal de alimentação.
- g) Placa porta-extratores (7): é a placa que segura e localiza os extratores.
- h) Placa impulsora (8): é a placa que recebe a impulsão para movimentar todo o conjunto extrator.
- i) Pinos de retorno (9): retornam o sistema extrator à posição inicial quando o molde se fecha para a próxima injeção.
- j) Placa suporte (10): esta placa possui furos que guiam os extratores e sustenta as placas porta insertos (macho e fêmea).
- k) Insertos (11): são responsáveis em formar a cavidade que dará o formato e a dimensão às peças injetadas.
- l) Bucha de injeção (12): controla a entrada de material para a parte interna do molde.
- m) Anel de centragem (13): responsável por centralizar o molde na injetora.
- n) Placa de fixação superior (14): também conhecida como placa base, é utilizada para fixar o lado da cavidade na injetora.
- o) Placas porta insertos (15): nestas placas são alojados o(s) inserto(s) macho e fêmea.
- p) Produto (a): é o produto injetado ou o moldado.
- q) Canal de distribuição (b): é o canal por onde percorre o plástico para preencher a(s) cavidade(s).

Alguns pontos relevantes relacionados ao projeto de um molde estão ligados a superfície de separação, ao ângulo de desmolde ou de saída, ao fator de contração e ao sistema de extração do moldado. A superfície de separação é a superfície onde

ocorre o fechamento ou o encontro do macho e da fêmea, e é determinada em função da geometria da peça a ser injetada (Figura 2.1). Para produtos simples a própria base da peça serve como origem da superfície de separação. No caso de produtos onde esta superfície não pode ser a base, existe a necessidade de dividi-la em duas metades para possibilitar a extração da cavidade sem que algum detalhe fique preso (VOLPATO, 1995). O ângulo de saída é uma pequena inclinação que as paredes da peça devem possuir para facilitar a extração do produto da cavidade. Este ângulo geralmente é definido pelo projetista do produto e caso não tenha sido, deverá ser determinado pelo projetista do molde tomando-se o cuidado para não prejudicar as dimensões da peça. Durante o processo de resfriamento, dentro da cavidade, a peça injetada sofre contração e conseqüente diminuição das suas dimensões. Segundo HARADA (2004), a contração é definida como a diferença entre as dimensões da peça injetada após alcançar o equilíbrio térmico entre a temperatura ambiente e a da cavidade de injeção. Deste modo, as dimensões da cavidade devem ser maiores do que a do produto injetado para que após o resfriamento a peça tenha as dimensões requeridas no projeto. O quanto maior deve ser a cavidade, dependerá do material a ser injetado uma vez que cada tipo de polímero possui um fator de contração. Estes valores são tabelados e facilmente encontrados na literatura e em catálogos dos fornecedores (MENGES e MOHREN, 1993, ROSATO *et al.*, 2000 e HARADA, 2004).

O sistema de extração, como mostrado anteriormente, é composto por pinos montados em duas placas (placa impulsora e placa porta extratores), que se movimentam após a abertura do molde para extrair a peça pronta. O projetista deve definir a quantidade e posicionar os pinos extratores nas regiões mais críticas da peça que tendem a impedir a sua saída da cavidade. Sendo assim, para cada geometria haverá uma quantidade e um posicionamento diferente dos pinos no molde. Em situações onde o uso de pinos é impraticável, como canais pouco espessos ou quando o diâmetro dos pinos é muito pequeno para dar uma área efetiva de contato, podem ser utilizadas lâminas para realizar a extração (GLANVILL e DENTON, 1989).

No caso de peças de plástico que possuem regiões que impedem a sua desmoldagem, se faz necessário o uso de moldes com partes móveis. Este tipo de ferramenta contém mecanismos, geralmente conhecidos como gavetas, que se

movimentam no sentido perpendicular ou inclinado ao de abertura da ferramenta, liberando as regiões da peça que não podem ser extraídas (MENGES e MOHREN 1993, ROSATO *et al.*, 2000 e HARADA, 2004). Na Figura 2.3 (a) e (b) é mostrado esquematicamente o funcionamento deste sistema.

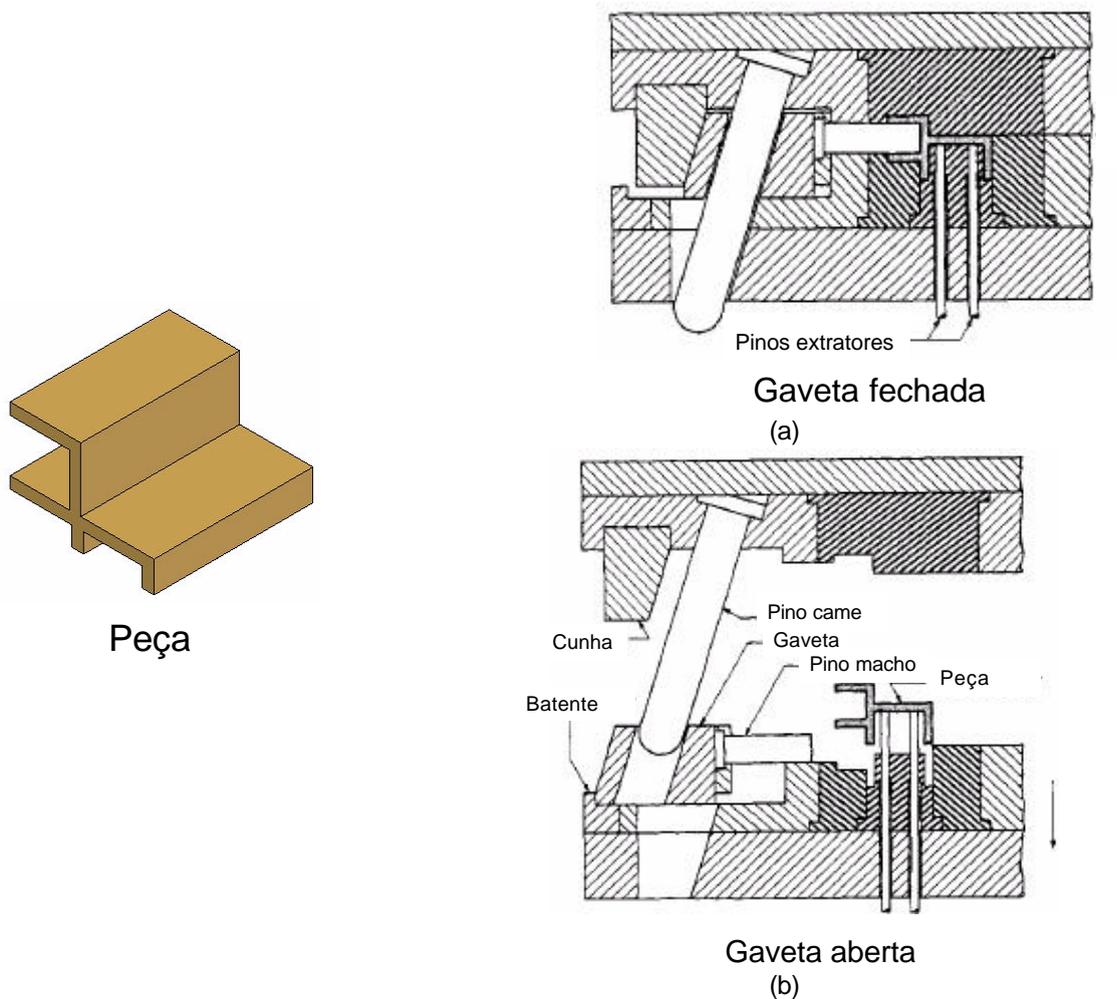


Figura 2.3 - Funcionamento do sistema de gaveta (ROSATO *et al.*, 2000).

Os insertos macho e fêmea são geralmente obtidos a partir de um bloco pelo processo de usinagem, sendo o fresamento um dos mais utilizados (MENGES e MOHREN, 1993). No entanto, em muitos casos o fresamento completo de algumas regiões é difícil ou impossível de ser realizado, devido algumas limitações geométricas da peça ou da ferramenta de corte (fresa). Nestas situações, geralmente é possível empregar os processos de eletroerosão (por penetração ou a fio) para a obtenção das regiões problemáticas. Contudo, antes do surgimento

destes processos, ou mesmo hoje quando não se tem acesso a eles, é possível reproduzir estas regiões empregando-se postiços (GLANVILL e DENTON, 1989). Os postiços são uma divisão das regiões problemáticas em outras mais simples que podem ser fresadas e que ao serem montadas reproduzem a geometria original. Na Figura 2.4 (a), (b) e (c) é possível verificar um exemplo de geometria que pode ser obtida com o emprego de postiços.

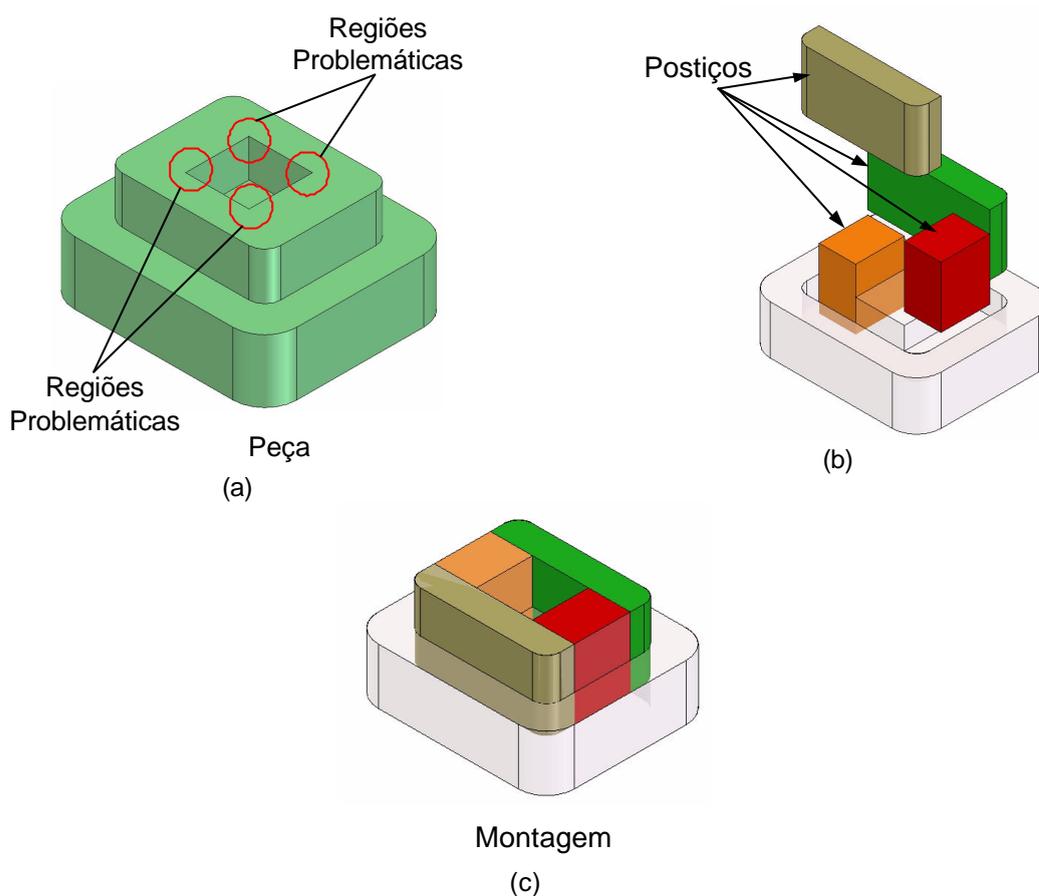


Figura 2.4 – Conceito de postiços para simplificar o processo de fabricação.

## 2.2 O Protótipo Durante o PDP

Segundo GROOVER e ZIMMERS (1984), o ciclo de desenvolvimento de um produto começa com a verificação das necessidades do cliente e do mercado em geral. Com estas informações é criado um conceito do novo produto que é analisado, refinado, melhorado e transferido para a área de engenharia. As informações são então documentadas na forma de modelos geométricos virtuais e desenhos que possibilitarão a escolha e o emprego de um processo de fabricação.

Para que esta fase se desenvolva adequadamente é necessário que as informações obtidas no início do PDP sejam interpretadas da forma mais correta possível. A partir da análise destas informações é que as equipes de projeto poderão transformar as necessidades do cliente em soluções comerciais (SMITH e MORROW, 1999).

Diversas são as etapas que compõem o PDP, assim como, as ferramentas e metodologias empregadas principalmente na fase inicial de desenvolvimento. Entre elas, encontra-se a Engenharia Simultânea que é uma metodologia caracterizada pelo envolvimento de especialistas de diversos setores da empresa, que unidos, formam equipes multifuncionais de desenvolvimento (EPPINGER *et al.*, 1994 e SMITH e MORROW, 1999). Durante todo o ciclo do PDP, os integrantes destas equipes contribuem com informações relativas as suas áreas de atuação, ajudando a desenvolver o produto em menor tempo. Evitar que falhas de projeto sejam identificadas somente em fases posteriores também é um dos objetivos da Engenharia Simultânea. Nesse caso, descobrir erros ainda na fase de projeto é um fator preponderante, uma vez que os custos envolvidos com retrabalhos crescem de forma considerável se realizados em etapas posteriores (ALVES JÚNIOR, 2003). Na Figura 2.5 é possível verificar a ordem de crescimento destes custos no decorrer do PDP.

Para ajudar os especialistas, principalmente aqueles ligados as áreas de engenharia, são empregados sistemas computacionais como CAD/CAE/CAM e tecnologias de fabricação de protótipos como a usinagem CNC (*Computer Numeric Control*), Prototipagem Rápida (RP, de *Rapid Prototyping*) e Ferramental Rápido (RT, de *Rapid Tooling*). Segundo GARCIA e CARVALHO (2001), estas tecnologias acabam sendo imprescindíveis em um PDP, pois ajudam a tornar mais fácil a comunicação entre os participantes, diminuindo assim o tempo de projeto. Nas seções seguintes estas tecnologias serão melhor explicadas.

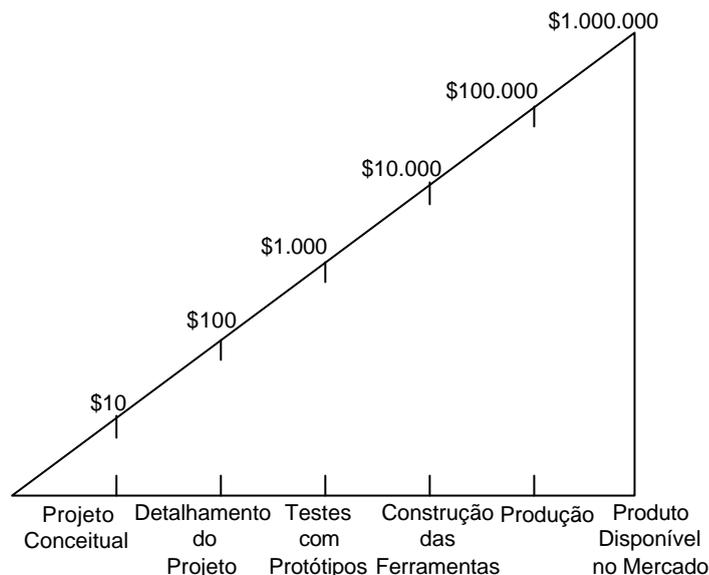


Figura 2.5 - Escala de crescimento dos custos de retrabalho durante as fases do PDP (ALVES JÚNIOR, 2003).

O *Design for Manufacturing* (DFM) é outra metodologia que vêm sendo cada vez mais empregada na etapa de projeto. A sua origem remonta aos anos 60 quando a empresa General Electric (GE) desenvolveu para uso interno um manual de projeto para a manufaturabilidade (BRALLA, 1998). Pensar na melhor forma de fabricar as peças que constituirão o novo produto, estando ainda na fase de projeto, é o que prega o DFM (LYE, 2000). Em se tratando de peças de plástico injetadas, a verificação de alguns detalhes como projetar buscando evitar a criação de regiões de contra saída, facilita a fabricação da ferramenta de injeção, além de diminuir o custo e o *time to market*. Não somente este, mas diversos outros detalhes inerentes ao processo de injeção podem ser previstos quando o produto se encontra ainda nas fases iniciais de desenvolvimento.

Segundo SMITH e MORROW (1999), existem diversos modelos de processo de desenvolvimento e uma significativa quantidade de pesquisas em atividade para melhorá-los. A diminuição do *time to market* é extremamente importante para que as empresas consigam lançar produtos antes de seus concorrentes e assim obter vantagens com esta antecipação (YAN e GU, 1996). Além disso, SMITH e MORROW (1999) também informam que um PDP bem estruturado e ágil pode determinar a viabilidade de companhias em longo prazo.

Como visto, a fase de projeto tem uma grande importância no PDP, tendo em vista que um projeto desenvolvido de forma correta, evitará que mudanças precisem ser implementadas em outras etapas, principalmente na de fabricação. Todavia, se o projeto não for desenvolvido corretamente, a fabricação do produto poderá revelar dificuldades inesperadas que muitas vezes só poderão ser corrigidas com algum tipo de modificação. Estas modificações provavelmente acarretarão em custos elevados que irão onerar o PDP e aumentar o tempo de desenvolvimento (DUTSON *et al.*, 2003).

### 2.3 Tipos de Protótipos

Para diversos autores, como MALLOY (1994), AKULA e KARUNAKARAN (2005) e DUTSON e WOOD (2005), um modelo concebido para ser usado em análises de estética, ergonomia, funcionabilidade ou projeto mecânico pode ser considerado como um protótipo. Independente do processo utilizado para a sua fabricação, o protótipo tem por intuito responder algumas questões de projeto que ainda não estão claras para a equipe de desenvolvimento. Além disso, o protótipo ajuda a acelerar as etapas iniciais de projeto, refletindo de forma positiva no *time to market* do novo produto. Neste caso, segundo DING *et al.* (2003), a aplicação de protótipos tem possibilitado uma redução de 60% no tempo de desenvolvimento, o que representa um ganho valioso para as empresas.

A maneira como o protótipo é criado pode ser dividida em duas formas: os protótipos gerados por computador, chamados de protótipos virtuais e os protótipos produzidos por algum processo de fabricação, chamados de protótipos físicos. Os protótipos virtuais são criados em sistemas CAD/CAE/CAM que possibilitam a realização de diversas análises em um curto espaço de tempo (DULIEU-BARTON e FULTON, 2000). Entre elas, a de forma, ou *design*, tem sido bastante empregada devido a liberdade de criação de geometrias complexas que estes sistemas computacionais permitem (DUTSON *et al.*, 2003). A verificação da resistência mecânica, da funcionabilidade do produto, assim como da sua aplicabilidade, e a análise de alguns processos de fabricação (como a injeção de plástico ou a usinagem), também são possíveis de serem avaliadas em um ambiente virtual. Além desta versatilidade, este tipo de protótipo permite ainda que através da *internet*,

especialistas de várias partes do mundo, que fazem parte da equipe de desenvolvimento, tenham condições de contribuir com suas avaliações.

Apesar do grande avanço tecnológico nos sistemas CAD/CAE/CAM, o uso de protótipos físicos permanece presente durante o PDP. Em grande parte, este fato está relacionado ao custo de implementação e manutenção das tecnologias CAD/CAE/CAM, principalmente no caso de empresas de menor porte. Além disso, segundo YAN e GU (1996), em se tratando de objetos complexos, os modelos virtuais acabam sendo difíceis de serem interpretados e erros podem acabar passando despercebidos pelas equipes de projeto.

A principal vantagem em se utilizar protótipos físicos está na possibilidade de se ter em mãos um modelo real da peça, ou do produto, para que seja possível perceber as falhas de projeto e então corrigi-las. Segundo DUTSON *et al.* (2003), em muitos casos os protótipos físicos acabam sendo empregados como meio de validação dos resultados obtidos nas análises realizadas nos protótipos virtuais. Isto ocorre principalmente com projetos inovadores nunca antes realizados pela empresa ou pela equipe de desenvolvimento.

Protótipos físicos podem ser empregados em análises puramente visuais ou em testes mais elaborados que simulem o seu funcionamento. No primeiro caso, a idéia principal é apresentar a equipe de desenvolvimento, ou até mesmo ao próprio cliente, a forma física que o produto terá quando entrar em produção. Já para a segunda situação a responsabilidade do protótipo é maior, uma vez que o mesmo deve apresentar resultados confiáveis em testes de funcionamento ou em ensaios de engenharia.

A quantidade de protótipos a serem fabricados não aparece de forma muito clara na literatura. Alguns autores indicam apenas que este valor pode variar de um a 100 (MÜLLER e SLADOJEVIC, 2001), de 50 a 200 (HILTON e JACOBS, 2000) ou de cinco a 1000 peças (FERREIRA e MATEUS, 2003). Provavelmente, a dificuldade em se definir um valor mais aproximado esteja ligado às diversas análises que podem ser feitas para uma mesma peça. Por exemplo, se o protótipo a ser produzido for a carcaça de um *joystick* de videogame, em que se pretenda analisar se o tamanho e a forma são adequados à mão do cliente, apenas uma peça poderá ser necessária. Mas, se o mesmo for utilizado também para se verificar o esforço máximo suportado antes que haja uma fratura ou a quebra por completo, um número

maior de protótipos deverá ser produzido. Neste caso, esta quantidade poderá ser definida por um tratamento estatístico que indicará o número mínimo de protótipos que deverão ser ensaiados para que se obtenha um resultado confiável.

Durante muito tempo os métodos de fabricação usados para se obter os protótipos físicos eram praticamente artesanais sendo que a qualidade dependia da habilidade manual do fabricante. Esta sistemática ocasionava numa grande parcela de tempo despendida na fabricação, aumentando de forma considerável o custo destes protótipos (ROSOCHOWSKI e MATUSZAK, 2000). Para a solução deste problema, algumas tecnologias de fabricação envolvendo um alto grau de automatização começaram a surgir e com elas a possibilidade de construir uma quantidade maior de protótipos de forma mais rápida e barata. As principais características destas novas tecnologias são apresentadas a seguir.

#### **2.4 Prototipagem Rápida (RP)**

A RP, conhecida também como manufatura por camadas, é uma tecnologia que surgiu no final da década de 80 trazendo consigo um novo conceito de fabricação. Segundo EVERSHEIM *et al.* (1994) e JACOBS (1992), *apud* KLOCKE *et al.* (1998), este novo conceito possibilitou uma redução na ordem de 30% a 70% dos custos de desenvolvimento de novos produtos. Esta vantagem tem feito com que as indústrias dos ramos automobilístico, elétrico, aeronáutico e de bens de consumo, mantenham investimentos constantes na exploração e desenvolvimento destas tecnologias (KLOCKE *et al.*, 1998). Além desses setores, a área médica também tem se beneficiado com uso dos protótipos construídos por camadas. Neste caso, estes protótipos têm sido empregados para o planejamento de procedimentos cirúrgicos em uma etapa pré-operatória. É com este tipo de procedimento que cirurgiões podem estudar uma melhor abordagem na cirurgia aumentando assim a probabilidade de sucesso na operação (FOGGIATTO, 2006).

A principal diferença entre a RP e os demais processos de fabricação está no fato de que as peças são construídas através da adição de material em camadas planas. Esta característica proporciona a RP uma flexibilidade na construção de peças com formas geométricas complexas que geralmente não são possíveis de serem obtidas através de processos convencionais.

Existem atualmente no mercado diversos equipamentos de RP que podem fabricar protótipos em uma gama variada de materiais (DALGARMO e STEWART, 2001). O princípio de funcionamento para todos esses equipamentos pode ser descrito da seguinte forma: a partir de um modelo tridimensional (3D) da peça, criado em um sistema CAD (Figura 2.6a), é realizado um fatiamento eletrônico do mesmo pela inserção de planos paralelos na geometria da peça, criando-se assim às camadas que serão depositadas (Figura 2.6b). A deposição de material é feita seguindo o contorno da peça em cada um dos planos que foram inseridos no modelo (Figura 2.6c). No final, a geometria da peça é obtida através de um empilhamento de camadas (Figura 2.6d). Em alguns processos de RP, caso a geometria não possua uma sustentação adequada é necessário a construção de suportes. No final do processo, é feita a retirada dos suportes (caso tenham sido utilizados) e realizado um acabamento superficial no protótipo de forma manual (ROSOCHOWSKI e MATUSZAK, 2000).

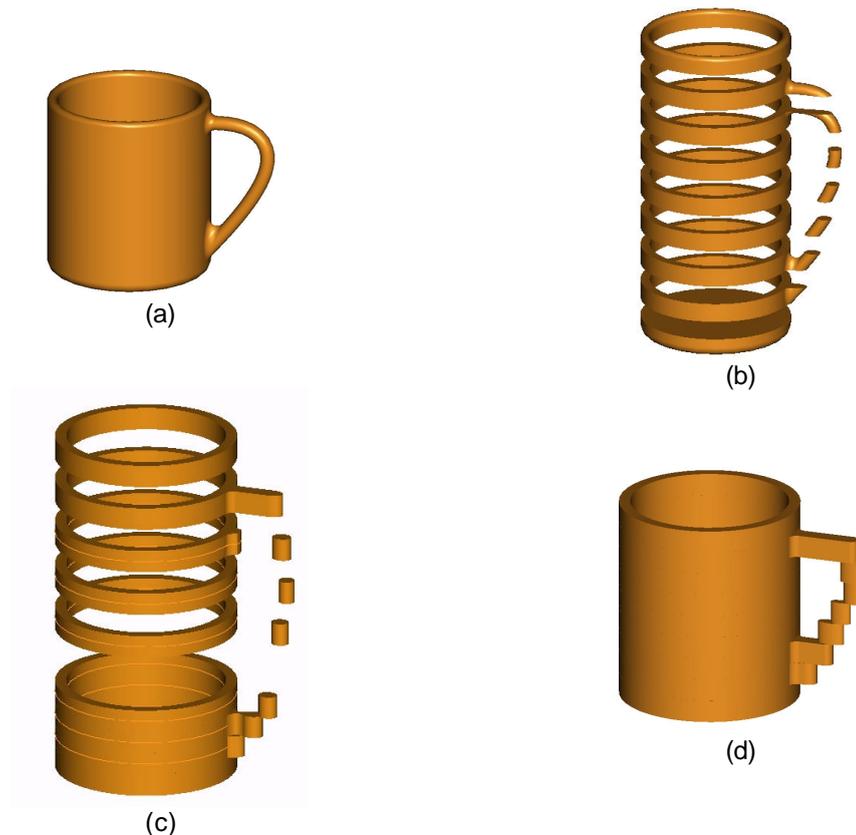


Figura 2.6 - Etapas da fabricação de protótipos pela tecnologia de RP.

Segundo JACOBS (1996), para a maioria das tecnologias o modelo CAD deve estar em um formato eletrônico específico conhecido como STL (*STereoLithography*). Este formato representa a geometria modelada no CAD de forma aproximada através de diversos triângulos, criando assim uma representação facetada da mesma (VOLPATO, 2002). A orientação da geometria é feita pelo usuário do *software* que deve verificar se a orientação escolhida proporcionará a construção do protótipo no menor tempo possível, além de propiciar a resistência e o acabamento adequado.

Apesar da necessidade de uma etapa final de acabamento, a RP pode ser considerada como um processo de fabricação altamente automatizado. Uma vez definida a orientação para a construção e a espessura das camadas, o equipamento realiza o processo de forma automática sem a necessidade de intervenção humana durante a fabricação (HUR *et al.*, 2001). Além da liberdade de formas geométricas que podem ser construídas e o alto grau de automatização, a RP tem a vantagem de não envolver altos tempos de preparação da máquina (GUNNINCK, 2000).

A RP, como todo o processo de fabricação, também apresenta algumas deficiências. Entre elas, as principais citadas na literatura estão ligadas à baixa precisão dimensional e ao acabamento superficial especialmente quando comparados aos processos de usinagem (HUANG e LIN, 2002). Segundo TAYLOR *et al.* (2001), estes problemas estão diretamente ligados ao efeito escada ocasionado pelo fatiamento e a deposição das camadas durante a fabricação dos protótipos (Figura 2.7).

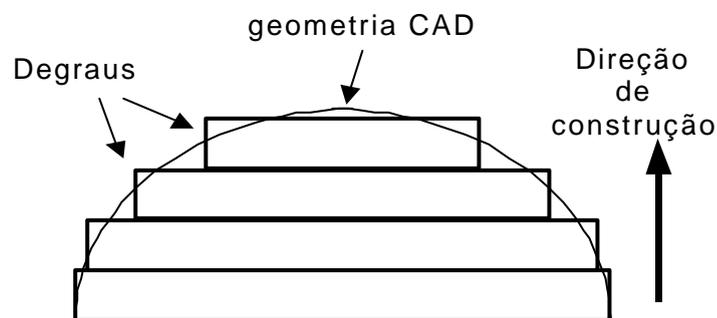


Figura 2.7 - Problema dimensional ocasionado pelo efeito escada.

Outro problema referente às dimensões da peça é causado pela triangularização gerada pelo arquivo STL. Como a geometria da peça não é exatamente igual à modelada no CAD e sim uma aproximação feita por triângulos, ocorre uma diferença dimensional entre os arquivos (YAN e GU, 1996). Esta diferença pode ser minimizada alterando-se o valor da tolerância utilizada pelo sistema CAD para calcular o tamanho dos triângulos. Diminuindo-se este valor, o sistema aproximará a geometria com uma quantidade maior de triângulos gerando assim, um arquivo menos facetado e mais próximo do original (Figura 2.8 (a) e (b)). Todavia, se esta tolerância for muito pequena, o arquivo STL terá muitos triângulos tornando-se grande e difícil de ser lido pelos sistemas de RP (VOLPATO, 2002). Outro inconveniente é quanto ao acabamento superficial dos protótipos. Como o processo de fabricação ocorre através da deposição de camadas as superfícies finais, dependendo da sua orientação, acabam tendo uma rugosidade muito alta devido ao efeito escada, o que em alguns tipos de protótipos não é aceitável. No caso de peças que necessitem de um melhor acabamento, emprega-se uma etapa de lixamento manual ao final do processo. Contudo, além de aumentar o tempo de aquisição, o lixamento pode prejudicar as dimensões da peça. Neste caso, o problema ocorre devido à falta de controle da quantidade de material que está sendo retirada, podendo resultar em algum tipo de falha na geometria do protótipo.

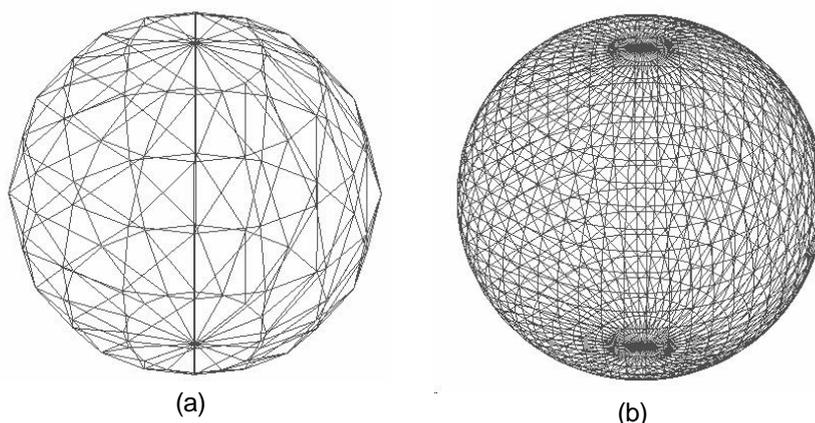


Figura 2.8 - Arquivo STL com 1mm de tolerância (a) e com 0,1mm (b)

Além da triangularização do arquivo STL, são verificados problemas com relação aos materiais empregados na produção dos protótipos por RP. Cada uma das tecnologias de RP utiliza um tipo de material que nem sempre é o mesmo

definido no projeto da peça. Esta é uma questão importante, uma vez que dependendo do teste que se pretende realizar com o protótipo, o material deverá ser o mesmo previsto no projeto.

Apesar dos problemas citados, a RP é uma tecnologia que tem ganhado espaço nas empresas não somente na obtenção de protótipos, mas também na fabricação de pequenos e médios lotes de peças de produção (GARCIA e CARVALHO, 2001 e TAYLOR *et al.*, 2001). Desse modo, é possível prever que em um futuro não muito distante as tecnologias de manufatura por camadas estarão sendo empregadas mais efetivamente na produção em série de alguns tipos de peças, e não somente de protótipos.

## 2.5 Ferramental Rápido (RT)

O RT engloba as tecnologias usadas para a fabricação de moldes-protótipo, sendo que o termo surgiu com o advento das tecnologias de manufatura por camadas (RP). Com um molde-protótipo, além de injetar a quantidade de peças necessárias para os testes ou ensaios de engenharia previstos, é possível obter informações que auxiliem na fabricação da ferramenta de produção (MALLOY 1994, CHUA *et al.*, 1999 e AHRENS *et al.*, 2002). Segundo ROSOCHOWSKI e MATUSZAK (2000), os métodos de fabricação destes insertos podem ser divididos em dois segmentos: fabricação direta e fabricação indireta.

No primeiro caso, utilizando apenas a RP, os insertos são construídos como um protótipo qualquer a partir de um arquivo CAD (GARCIA e CARVALHO, 2001). Em algumas situações, para se economizar tempo e material, os insertos são fabricados na forma de casca, sendo na seqüência preenchidos com algum outro material (e.g. massa plástica) para dar a resistência necessária. A fabricação pela forma indireta também utiliza a RP. Porém para construir um modelo mestre da peça que será usado para gerar os insertos (GARCIA e CARVALHO 2001). Um exemplo que ilustra este processo é a fabricação de um molde de silicone. Inicialmente o modelo é colocado dentro de uma caixa de modo a ficar suspenso através de algumas varetas (Figura 2.9a). Na face superior da caixa são formadas as regiões para entrada de material e saída de ar do interior do bloco. Em seguida a caixa é preenchida com silicone fundido formando um bloco com o modelo em seu interior

(Figura 2.9b). Após a cura do silicone, o bloco é cortado transversalmente e retirado o modelo, formando assim os inserts macho e fêmea para a injeção (Figura 2.9c).

Moldes de silicone são indicados para lotes pequenos de protótipos onde a quantidade necessária não ultrapasse 20 peças (DING *et al.*, 2003). Segundo NAKAGAWA (2000), um problema verificado na confecção deste tipo de molde é a necessidade de mão-de-obra especializada com habilidade manual. Além disso, outro inconveniente é a limitação de materiais que podem ser usados para injetar os protótipos. O mais indicado em moldes de silicone é o poliuretano, que pode ser formulado para ter características mecânicas próximas de outros materiais plásticos (ROSOCHOWSKI e MATUSZAK, 2000). Todavia, na maioria das vezes, este não é o mesmo material definido no projeto da peça, podendo acarretar em incertezas caso os protótipos sejam usados em algum tipo de ensaio.

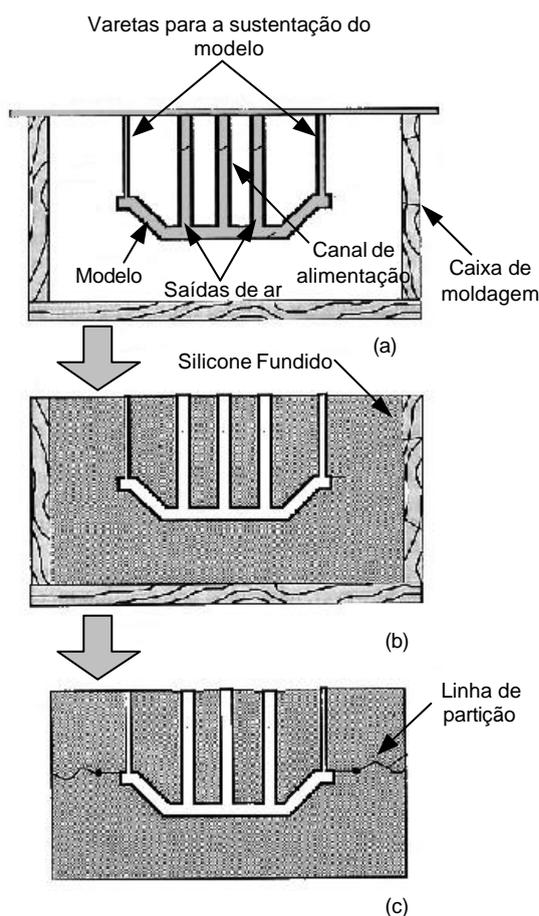


Figura 2.9 - Etapas para a fabricação de um molde de silicone (Adaptado de MALLOY, 1994).

A vida útil do molde-protótipo é uma característica importante que deve ser observada, uma vez que o mesmo deve resistir ao número de ciclos necessários para se obter a quantidade de protótipos requeridos. No caso de moldes feitos por prototipagem, a precaução maior é quanto aos parâmetros de injeção, e entre estes, mais especificamente a pressão de injeção. Segundo CAVALHEIRO *et al.* (2005), diversos autores recomendam que se utilize os menores valores possíveis para pressões, sem contudo comprometer a qualidade da peça injetada.

A fabricação de insertos mais resistentes é um dos objetivos dos processos de manufatura por camadas utilizadas na área de moldes-protótipo. Estes insertos são produzidos com material metálico através de tecnologias como o RapidTool, que utiliza o processo SLS (*Selective Laser Sintering*), o DirecTool que utiliza o processo de sinterização a laser EOSINT, 3D Keltool, *Laminated Metal Tooling* e *Spray Metal Tooling*, para citar alguns (GARCIA e CARVALHO, 2001 e ROSOCHOWSKI e MATUSZAK, 2000). Apesar destas tecnologias possibilitarem a fabricação de insertos mais resistentes, verifica-se que alguns dos problemas encontrados pela RP também ocorrem com elas. Neste caso, o principal ainda está ligado à precisão dimensional com o qual os insertos podem ser fabricados (HILTON e JACOBS, 2000). Existem outras tecnologias em desenvolvimento, porém as citadas já se encontram no mercado.

## 2.6 Ferramental Rápido Usinado (RT Usinado)

Apesar do nome RT estar diretamente associado à RP, não somente estas tecnologias podem ser utilizadas para a sua obtenção. Conforme descrito anteriormente, a usinagem CNC (principalmente o processo de fresamento) também tem sido empregada na fabricação de insertos para moldes-protótipo. No Brasil, o Núcleo de Prototipagem e Ferramental (NUFER) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) vem estudando o emprego da usinagem CNC, juntamente com sistemas CAD/CAM, na fabricação dos insertos. Os pesquisadores do NUFER têm se referido à união das tecnologias CAD/CAM/CNC para a usinagem de moldes-protótipo como Ferramental Rápido Usinado (RT Usinado) (VOLPATO *et al.*, 2003, VOLPATO e DERENIEVICKI, 2005 e AMORIM e VOLPATO, 2005). Geralmente, a fabricação de moldes-protótipo por usinagem está ligada ao uso de

materiais de fácil usinabilidade como, por exemplo, o alumínio (ALVES JÚNIOR, 2003, HILTON e JACOBS, 2000). Neste caso, segundo HILTON e JACOBS (2000), é possível se obter um molde-protótipo de ótima qualidade em um tempo reduzido através da união da precisão dimensional oferecida pela tecnologia CNC com a rapidez de processamento do alumínio.

Para que o molde-protótipo usinado seja obtido de forma rápida, é importante que os tempos envolvidos nas etapas de fabricação sejam os menores possíveis. A eliminação de processos como a eletroerosão, tende a acelerar a obtenção do molde e diminuir o custo de fabricação. Neste sentido, foi verificado que na Alemanha, uma empresa chamada PROTOFORM GmbH desenvolveu uma forma de fabricar moldes em alumínio utilizando principalmente o processo de fresamento (PROTOFORM, 2004). A técnica é chamada de *Space Puzzle Mold* (SPM) e nela os insertos são divididos em diversas partes (como postigos) para facilitar o processo de usinagem. Depois de fabricadas, as peças são unidas formando uma espécie de “quebra-cabeça” que ao serem montadas dão origem ao macho ou a fêmea do molde. A cada ciclo de injeção o molde é desmontado por completo para a extração do produto e remontado para a injeção de um novo protótipo (Figura 2.10). MARTINS *et al.* (2005), também verificaram o uso de uma técnica parecida, porém na fabricação de moldes de fundição pelo processo de fundição por cera perdida. Neste caso, as geometrias divididas são fabricadas por usinagem em poliestireno, montadas e coladas formando a peça de sacrifício para o processo.

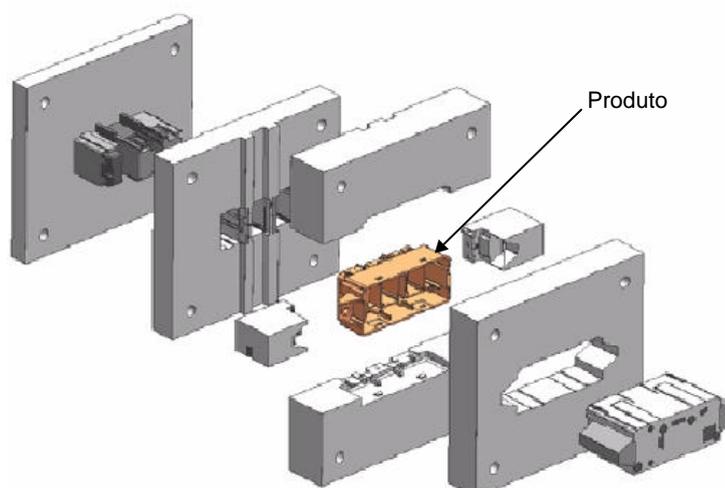


Figura 2.10 - Exemplo de um molde tipo “quebra-cabeça” (PROTOFORM, 2004).

Além do CNC, o RT Usinado necessita de outros sistemas, como o CAD/CAM, que irão auxiliar no projeto dos insertos e o DNC (*Direct Numerical Control*), que fará o gerenciamento dos dados a serem enviados para a máquina. No CAD, os insertos são modelados a partir da geometria do produto que se deseja injetar, tomando-se todas as precauções referentes ao projeto de um molde. Os insertos modelados são exportados para o CAM onde serão criadas as estratégias de usinagem e o código CNC. Como os programas criados pelo sistema CAM contêm uma grande quantidade de linhas, devido aos movimentos da ferramenta serem realizados por pequenos segmentos de reta ao longo da geometria da peça, o tamanho dos arquivos pode ser maior do que o suportado pela memória da máquina. Neste caso, é utilizado um sistema DNC possibilitando que a usinagem seja realizada *on-line*, a partir de um computador ligado à máquina.

Em comparação ao uso das tecnologias de RP na obtenção dos insertos, a literatura mostra que a usinagem apresenta as seguintes vantagens:

- a) A usinagem CNC pode produzir insertos em diversos tipos de materiais (MARTINS *et al.*, 2005);
- b) Ganhos de até 50% em tempo e custo na fabricação de insertos com geometrias simples (ROSOCHOWSKI e MATUSZAK, 2000);
- c) A usinagem CNC não necessita de acabamento manual para garantir que os insertos tenham uma superfície com baixa rugosidade (WOHLERS e GRIMM, 2003);
- d) Não há limitação de tamanho para os moldes fabricados pela usinagem CNC (MARTINS *et al.*, 2005);
- e) A usinagem CNC é uma tecnologia que já está consolidada no meio industrial (VOLPATO *et al.*, 2003);
- f) A usinagem permite produzir peças com tolerâncias dimensionais menores do que as alcançadas pelas tecnologias de RP (HUR *et al.*, 2001).

Todavia, alguns problemas também tem sido relatados, entre eles:

- a) No caso de geometrias muito complexas, a necessidade de diversas fixações insidirá diretamente nos custos e possivelmente na qualidade dos insertos (WOHLERS e GRIMM, 2003);
- b) Dificuldades e até impossibilidade na fabricação de regiões que contenham ângulos negativos, cantos retos em cavidades, canais pouco espessos e profundos além de detalhes muito pequenos (RADSTOCK, 1999, VOLPATO e AMORIM, 2004 e MARTINS *et al.*, 2005);
- c) Necessidade de um planejamento de processo mais apurado e de uma pessoa qualificada para preparação e operação da máquina CNC (BEAMAN *et al.*, 1997).

Apesar das dificuldades citadas, as vantagens do uso do RT Usinado ainda são bastante atraentes, principalmente em um cenário nacional onde o emprego da RP, na fabricação de moldes-protótipo ainda se encontra em um estágio inicial.

### **2.6.1 Materiais para a Fabricação de RT Usinado - Resinas Poliméricas**

Alguns polímeros termofixos com ou sem carga, aqui denominados de resinas poliméricas, comercializados na forma de pó ou de placas, podem ser utilizadas em diversas aplicações na área mecânica (ALVES JÚNIOR, 2003). Mais especificamente na área de protótipos, os fornecedores destes tipos de materiais indicam uma gama variada de opções que podem ser usados para se obter desde modelos visuais até ferramentas para conformação de chapas e moldes para injeção de plásticos (VOLPATO *et al.*, 2003). Neste último, CHEAH *et al.* (2002), informam que o uso de resinas pode diminuir tanto o custo como o tempo de fabricação das ferramentas em 25% e 50% respectivamente, se comparado com o uso de materiais metálicos.

A diferença entre as resinas está em sua composição e na carga de material usado para compô-las, que servem para dar características especiais ao material. Em um estudo feito por TOMORI *et al.* (2004), com uma resina contendo carbetto de silício (resina RP 4037 da empresa Huntsman), foi verificado que as partículas deste material melhoram o acabamento superficial no processo de usinagem. Contudo, estas partículas afetam a vida da ferramenta de corte, causando um desgaste

premature da mesma. Outro material usado como carga nas resinas para moldes-protótipo é o alumínio, que tem como principal finalidade melhorar a condutividade térmica dos insertos (VASCONCELOS *et al.*, 2005). Nessa linha, YANG e RYU (2001) apresentaram um estudo sobre o desenvolvimento de uma resina contendo alumínio para a fabricação de moldes-protótipo pelo processo de fresamento. No trabalho foram realizados testes de propriedades mecânicas, usinabilidade e fabricados os insertos de um molde para a injeção de uma hélice de plástico (Figura 2.11 (a) e (b)). Os autores concluíram que a resina pode ser usada para a usinagem de moldes-protótipo, com o uso de máquinas HSM (*High Speed Machining*), devendo levar em consideração a complexidade da geometria a ser injetada.

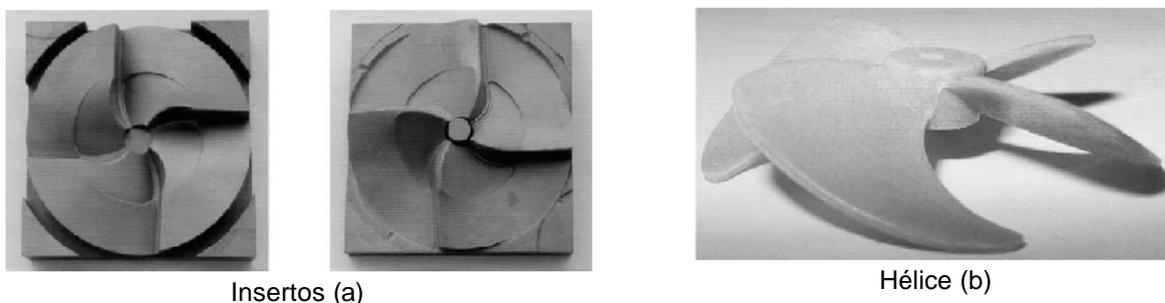


Figura 2.11 – Exemplo de Insertos (a) e hélice injetada (b) (YANG e RYU, 2001).

No mercado, já é possível encontrar resinas com esta característica, podendo ser citada a Express 2000, também comercializada pela empresa Huntsman. Esta resina é uma nova geração de materiais projetados para RT onde a boa resistência e condutividade térmica, aliada a possibilidade de serem usinadas são considerados como aspectos positivos (KING e TANSEY, 2001). Todavia, os parâmetros de corte indicados pelo fabricante também se referem ao uso de máquinas HSM. A usinabilidade destas resinas é um fator relevante, pois pode ser verificada a ocorrência de lascamentos nas mesmas quando submetidas ao processo de fresamento. Em um trabalho feito por LANZ *et al.* (2002), utilizando HSM e a resina Express 2000, foi verificado que o lascamento do material ocorre nas regiões de saída da ferramenta sob algumas condições específicas de corte (Figura 2.12). Os autores indicam que este problema está diretamente relacionado ao avanço por face da ferramenta. Em outro trabalho similar, no entanto usando uma máquina CNC convencional, VOLPATO e DERENIEVICKI (2005), também verificaram o mesmo

fenômeno, porém não somente em resinas com carga de alumínio, mas em resinas com outras cargas. Este é um problema relevante na fabricação de moldes-protótipo, tendo em vista que qualquer dano na superfície da geometria dos insertos pode inviabilizar o processo de injeção dos protótipos. Contudo, ambos os trabalhos indicam que o problema de lascamento pode ser solucionado com a diminuição do avanço por dente nas regiões de saída, preservando assim as geometrias dos insertos.

Entre outras resinas disponíveis no mercado, encontra-se a Ren Shape 5166 também fabricada pela empresa Huntsman. Esta resina é recomendada para a fabricação de punções e matrizes para o processo de estampagem de protótipos ou pequenos lotes de peças feitas em aço e até mesmo em ligas de titânio (AMERICAN MACHINIST, 2000). Apesar da resina Ren Shape 5166 não ser indicada para o processo de injeção de plástico, VOLPATO *et al.* (2003), realizaram um estudo empregando este material para a fabricação de insertos e posterior injeção dos protótipos em PP (Polipropileno). Os resultados se apresentaram satisfatórios, sendo possível obter 80 peças de boa qualidade sem nenhum dano aos insertos.

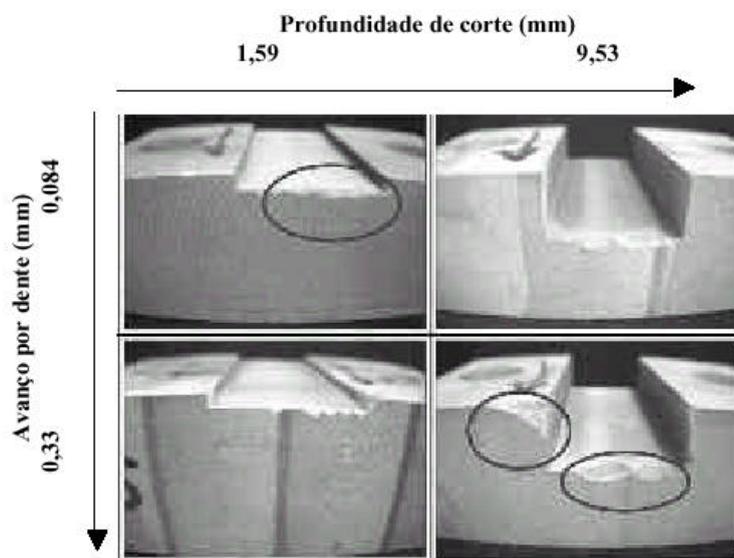


Figura 2.12 - Resultados dos ensaios de usinagem (LANZ *et al.*, 2002).

Mesmo sendo indicado o uso de máquinas HSM na usinagem das resinas, VOLPATO e DERENIEVICKI (2005) obtiveram, com o emprego de uma máquina convencional, resultados semelhantes aos de LANZ *et al.* (2002). Isto indica que

esta tecnologia pode ser utilizada com sucesso na usinagem de resinas, mesmo quando estas sugerem o uso de velocidades de corte muito altas. Este fato é relevante, tendo se em vista que a usinagem com máquinas HSM ainda encontra-se em fase inicial de emprego pela indústria brasileira.

### 2.6.2 O Emprego de Sistemas CAD/CAM no Projeto de Moldes de Injeção

Em um PDP, o uso de sistemas CAD/CAM acaba sendo imprescindível, principalmente devido à complexidade dos projetos atuais. Na área de plásticos, onde geralmente se trabalham com formas complexas, a necessidade se torna ainda maior tanto na fase de projeto como na fabricação.

Segundo VOLPATO (2002), a tecnologia CAD refere-se atualmente ao uso de um sistema computacional, onde é possível realizar o projeto de todo o produto, assim como do seu ferramental, em três dimensões (3D). Desse modo, é possível para o projetista ter uma idéia de todas as dimensões da peça bem como verificar alguns detalhes que seriam difíceis de serem observados em um projeto bi-dimensional (desenho 2D). Nestes sistemas, também é possível gerar montagens e criar desenhos de fabricação a partir das peças modeladas, com uma maior agilidade e precisão. Nesse caso, toda alteração feita no modelo 3D é automaticamente atualizada no arquivo de montagem e nos desenhos de fabricação, o que torna o gerenciamento dos documentos da área de projetos muito mais fácil de ser realizada.

Segundo GAMA (1999), os sistemas CAD podem ser divididos em *high*, *middle* e *low-end*. Os aplicativos *low-end* são empregados em projetos simples e na realização de desenhos técnicos. Os sistemas *middle-end* são empregados em indústrias mecânicas onde existem problemas com relação a montagens, modelagem de sólidos e superfícies. Por fim, os aplicativos denominados *high-end* são programas com alta capacidade de modelagem de formas complexas, como as utilizadas nas indústrias automobilística, espacial, aeronáutica e outras (GAMA, 1999).

Em sistemas CAD é possível gerar modelos geométricos através de superfícies ou utilizando elementos sólidos (ZEID, 2005). Um modelo gerado por superfícies é composto por superfícies individuais (de espessura igual a zero) que são unidas

para se obter à forma desejada (SIMÕES, 1999). Uma das vantagens dos modeladores de superfície é a facilidade de controlar a forma da mesma durante o processo de modelagem, principalmente quando utilizados NURBS (*Non Uniform Rational B-Splines*). Já um elemento modelado como sólido é uma representação matemática completa de um objeto físico, onde é possível obter informações como volume e peso do modelo (SIMÕES, 1999 e YAN e GU, 1996).

Mais especificamente para as empresas que projetam e fabricam moldes (de produção ou protótipos), conhecidas como ferramentarias, é interessante que o sistema CAD possibilite algumas características. Entre elas, definir de forma automática a superfície de separação entre o macho e a fêmea, uma vez que esta tarefa nem sempre é fácil de ser realizada manualmente, tendo em vista a complexidade geométrica dos insertos (VOLPATO, 1995). Outra condição fundamental para um sistema CAD é a possibilidade de reconhecer geometrias complexas geradas por outros modeladores. Atualmente, existem no mercado diversos sistemas que usam algoritmos específicos para gerar os modelos 3D. Isto acaba sendo um problema, pois nem sempre um arquivo gerado por um CAD A é possível de ser lido por um CAD B ou C, devido à incompatibilidade entre os sistemas. Como forma de contornar este problema são utilizados interfaces neutras (programas nos próprios CADs), que fazem a transformação do arquivo modelado no formato nativo em um arquivo neutro, possível de ser lido pelos outros sistemas. Alguns dos arquivos neutros mais utilizados são o IGES (*Initial Graphics Exchange Specification*), o STEP (*Standard for Exchange of Product Data*), o VDA (*Verband der Automobilindustrie*) e o STL (*STereoLithography*).

No entanto, esta conversão nem sempre é realizada de forma adequada e nestas situações podem ocorrer falhas no modelo 3D (KNOPPERS e GUNNINK, 2000). Segundo SCHÜTZER e HENRIQUES (2002), em alguns casos a perda de informação é tão grande que é preferível modelar novamente todo o produto ao invés de tentar consertá-lo. Como as ferramentarias prestam serviços para uma variada gama de empresas é fundamental que o sistema CAD utilizado por elas seja capaz de ler e interpretar todos estes arquivos. Todavia, uma vez transformado o arquivo original para um formato neutro, toda a história da modelagem é perdida não sendo mais possível a sua edição de forma paramétrica (GUNNINCK, 2000).

Modeladas as principais partes do molde, como os postigos e os insertos, inicia-se a etapa de preparação para a fabricação destas peças. Os arquivos CAD são convertidos para um formato neutro adequado que possa ser lido pelo sistema CAM.

Normalmente, as estratégias de usinagem podem ser divididas em dois grupos: desbaste e acabamento sendo que no desbaste uma estratégia muito empregada é a de usinagem em *raster*. Nesta estratégia, o perfil da peça é usinado em diversos planos que podem ser inseridos pelo usuário ou calculados automaticamente pelo sistema. Com esta estratégia o sistema CAM aproxima o bloco de matéria-prima à geometria modelada, através de passes que serão dados por uma ferramenta de desbaste. Para o acabamento são utilizadas várias estratégias, escolhidas conforme a região da peça que se pretende usinar. Em moldes metálicos, geralmente é realizado um passe de pré-acabamento entre o desbaste e o acabamento final. Este passe intermediário aproxima ainda mais a geometria usinada anteriormente pela estratégia de desbaste, deixando um sobre-metal mais constante para a última etapa. A fase de acabamento é considerada a mais importante do processo, pois determina a precisão dimensional e a qualidade superficial dos insertos (FILHO *et al.*, 2001). As estratégias de acabamento podem funcionar por projeção, onde o caminho da ferramenta é criado em 2D e projetado sob a geometria da peça (VOLPATO, 1993). Existem também outras estratégias, como a de Z constante, que possibilita a usinagem de paredes fazendo com que a ferramenta siga a topografia da geometria (WEINERT e GUNTERMANN, 2000).

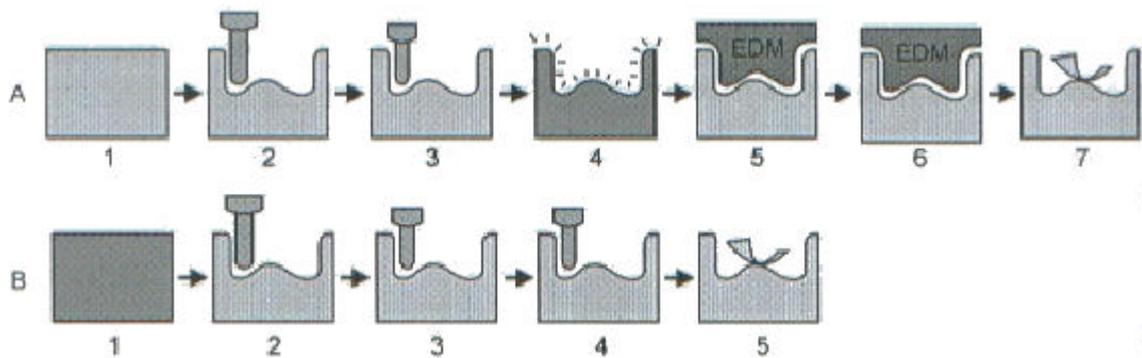
Definidas as estratégias para desbaste e acabamento, assim como os parâmetros de corte que serão utilizados, é possível simular em um ambiente gráfico o processo de usinagem. Com isto, o usuário pode verificar se existe a possibilidade de colisão entre a ferramenta e a peça, ou entre a ferramenta e algum sistema de fixação, antes de enviar o programa para a máquina (DORF e KUSIAK, 1994). Esta é uma característica importante para um sistema CAM, principalmente quando aplicado à programação de usinagem de peças com geometrias complexas.

### 2.6.3 O Emprego do CNC na Fabricação de Moldes de Injeção

Diversos fatores têm implicado no uso de máquinas CNC na fabricação de peças nas mais diversas áreas. Entre eles, a capacidade produtiva, a qualidade obtida e a complexidade de componentes que podem ser produzidos por estes equipamentos (DORF e KUSIAK, 1994). No setor de ferramentaria, estas características são facilmente verificadas, principalmente quanto à fabricação de moldes com superfícies complexas. Antes do CNC, peças deste tipo eram feitas com a ajuda de uma máquina copiadora, que utiliza um apalpador e um modelo físico da geometria do molde a ser usinado (GLANVILL e DENTON, 1989). Neste caso, o apalpador (montado em um cabeçote na máquina) é movimentado manualmente pela superfície do modelo que transmite o mesmo movimento a ferramenta de corte (montada em outro cabeçote da máquina), usinando assim a geometria do molde. Este método de fabricação, usado ainda hoje por algumas empresas, dispense um grande tempo de processo e necessita de uma mão-de-obra especializada, para fabricação do modelo e do molde. Com a utilização de uma máquina CNC, sendo os centros de usinagem as principais nesta área, a fabricação tem se tornado mais simples especialmente com o auxílio de sistemas CAD/CAM.

Atualmente a tecnologia CNC empregada na área de ferramentaria tem apresentado um grande avanço tecnológico principalmente com o uso de máquinas HSM (*High Speed Machining*) e máquinas cinco eixos. Os equipamentos HSM são caracterizados por utilizarem altas velocidades de corte e de avanço, proporcionando uma usinagem muito mais rápida se comparados às máquinas CNC tradicionais. Segundo MARCONDES *et al.* (2003), esta tecnologia é considerada hoje como a mais importante em desenvolvimento e implantação na área de usinagem. Suas maiores vantagens são o alto percentual de remoção de material, o uso de baixas forças de corte e uma maior dissipação de calor com a remoção de cavaco. Com esta última, é possível diminuir as distorções na peça causadas pelo calor e com isto aumentar a precisão dimensional e geométrica da superfície usinada. Porém, também são verificadas algumas desvantagens como: maior desgaste da ferramenta de corte, necessidade de equipamentos com controles especiais do fuso e suportes de ferramenta balanceados (ALTAN *et al.*, 2000).

Segundo URBANSKI *et al.* (2000), a tecnologia HSM tem tido grande aplicação no fresamento de moldes feitos em aços com durezas acima de 30 HRC. Neste tipo de material, os parâmetros de corte requeridos geralmente são de cinco a dez vezes maiores do que os utilizados no mesmo tipo de aço sem tratamento térmico (ALTAN *et al.*, 1998). É possível verificar na Figura 2.13 que a usinagem de moldes em aços endurecidos apresenta uma grande vantagem se comparado aos processos convencionais utilizados hoje. A eliminação das etapas de têmpera e eletroerosão proporcionam uma maior agilidade ao processo e uma maior qualidade ao molde (NAKAGAWA, 2000). Neste caso, como a usinagem é realizada a partir do bloco já endurecido não se faz necessário que o molde seja enviado ao forno para o processo de têmpera. Isto ajuda a prevenir distorções causadas pela têmpera que danificarão as geometrias já usinadas nas etapas de desbaste e pré-acabamento.



Fabricação por usinagem convencional (A)	Fabricação por HSM (B)
1- Preparação do bloco (esquadrejamento)	1- Preparação do bloco tratado termicamente (esquadrejamento)
2- Usinagem da geometria dos inserts (desbaste)	2- Usinagem da geometria dos inserts (desbaste)
3- Usinagem da geometria dos inserts (pré-acabamento)	3- Usinagem da geometria dos inserts (pré-acabamento)
4- Tratamento térmico	4- Usinagem da geometria dos inserts (acabamento)
5- Usinagem por eletroerosão (desbaste)	5- Polimento manual
6- Usinagem por eletroerosão (acabamento)	
7- Polimento manual	

Figura 2.13 - Comparação entre a usinagem convencional (a) e a usinagem HSM de moldes de injeção (Adaptado de SANDVIK, 2003).

Todavia, como mostrado na Figura 2.14, a usinagem HSM pode ser empregada não somente em aços endurecidos, mas também na usinagem de diversos outros materiais. Entre estes, como visto no item 2.6.1, algumas resinas poliméricas usadas para a fabricação de moldes-protótipo também requerem velocidades de corte alcançadas apenas por máquinas HSM.

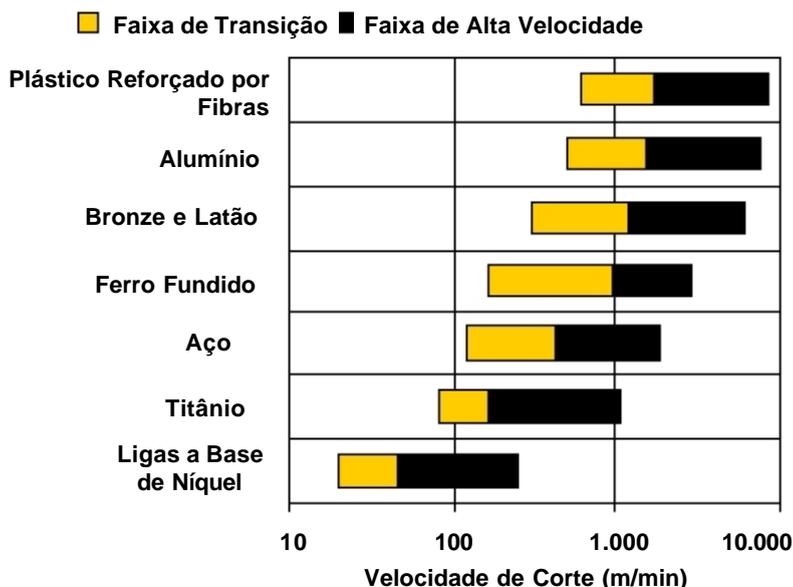


Figura 2.14 - Velocidades de corte em HSM para alguns materiais (ALTAN *et al.*, 1998).

Uma das principais características das máquinas cinco eixos é a sua maior versatilidade na fabricação de superfícies complexas. Segundo PRINZ *et al.* (1997), dependendo da posição em que esteja localizada a geometria a ser usinada, é necessário que a ferramenta esteja em uma posição inclinada em relação ao eixo Z da máquina (Figura 2.15). Para isto, segundo COOLE *et al.* (2001), uma máquina cinco eixos utiliza dois eixos rotacionais para posicionar a ferramenta e três lineares para realizar a usinagem. Como visto, a diferença entre uma máquina cinco eixos e uma máquina convencional está no grau de liberdade de cada uma, sendo a máquina cinco eixos com cinco graus e a máquina três eixos convencional com três graus de liberdade. Na Figura 2.16 é ilustrado esta diferença.

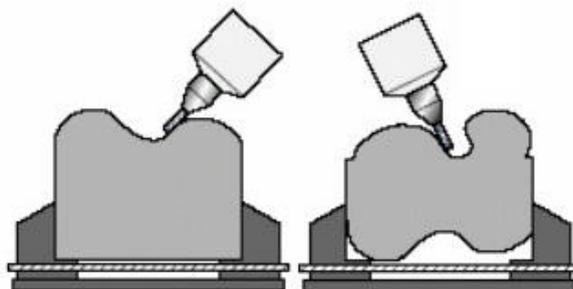


Figura 2.15 - Exemplos de usinagem cinco eixos (COOLE *et al.*, 2001).

Apesar das vantagens apresentadas pelas tecnologias HSM e cinco eixos, a usinagem convencional, utilizando máquinas CNC com três eixos, pode ser considerada ainda uma das mais empregadas no país.

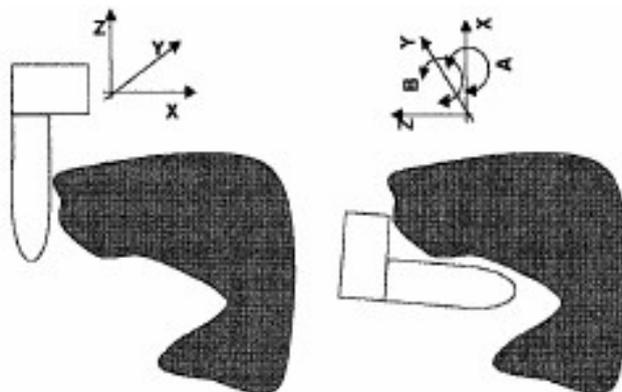


Figura 2.16 - Diferença entre usinagem três e cinco eixos (COOLE *et al.*, 2001).

## 2.7 Discussão

O desenvolvimento mais rápido de novos produtos, assim como a possibilidade de criar e fabricar formas geométricas mais ousadas tem sido possível graças aos avanços das tecnologias envolvidas nas fases de projeto e fabricação. A utilização cada vez mais freqüente de protótipos virtuais, criados em sistemas CAD/CAE/CAM, tem ajudado as equipes de projeto a desenvolverem de forma mais rápida e precisa os novos produtos. Todavia, a necessidade do emprego de protótipos físicos para alguns tipos de análises, ainda é uma necessidade em um PDP, o que abre espaço para o emprego e aprimoramento das tecnologias de RP e RT.

Como visto neste capítulo, a RP possibilita a criação de protótipos com liberdade de formas geométricas de forma bastante automatizada. Porém, a sua

utilização tem se restringido, geralmente, a fabricação de protótipos visuais, devido a algumas dificuldades inerentes aos processos (deposição de camadas). A fabricação de protótipos funcionais, a serem utilizados em ensaios de engenharia ou testes de funcionalidade, tem sido possível com o uso de moldes-protótipo, fabricados pelas tecnologias de RT. Entre estas, a usinagem CNC, aliada a sistemas CAD/CAM, merece destaque principalmente pela precisão dimensional e o baixo custo de sua utilização.

O uso de resinas poliméricas como matéria-prima na fabricação dos insertos tem ajudado a diminuir o tempo de manufatura, assim como os custos de obtenção do molde-protótipo. Todavia, é verificado que apesar das vantagens que a usinagem CNC possibilita, certas formas geométricas não são possíveis de serem fresadas diretamente nos insertos. Desta forma, acredita-se ser possível resolver este problema através do uso de posições que poderão ser criados a partir de uma seqüência de passos que se pretende sistematizar.

### **3 PROPOSTA DE UMA SISTEMÁTICA PARA A FABRICAÇÃO DE FERRAMENTAL RÁPIDO USINADO UTILIZANDO SOMENTE O PROCESSO DE FRESAMENTO**

Com base na verificação das dificuldades em se fabricar moldes-protótipo unicamente pelo processo de fresamento, buscou-se uma solução para estes problemas com o emprego de postigos. Como visto anteriormente, esta é uma idéia já empregada em moldes de produção, porém pouco utilizada em moldes-protótipo. Além disso, o projeto e a fabricação destes postigos são realizados levando em consideração apenas a experiência do projetista e do profissional que irá fabricá-los. De modo a propiciar que o projeto e a fabricação dos postigos e do molde-protótipo sejam realizados de uma maneira mais metódica, este capítulo apresenta uma proposta de sistematização dos passos necessários. Em um primeiro momento, a proposta é apresentada como um todo, sendo na seqüência explicado cada uma das etapas que a compõe.

#### **3.1 Uma Visão Geral da Proposta**

A sistemática proposta para a fabricação de moldes-protótipo apenas pelo processo de fresamento pode ser dividida em quatro etapas (Projeto, Planejamento do Processo de Usinagem, Fabricação e Injeção). Cada uma destas etapas estão interligadas e quando unidas podem ser vistas na forma de um fluxograma contendo as atividades que devem ser cumpridas para se obter os insertos (Figura 3.1). Para as principais atividades, que são aquelas que definirão a qualidade dos insertos, existem procedimentos que guiam o usuário na obtenção dos melhores resultados. Estes procedimentos estão unidos na forma de um manual que pode ser visto no Apêndice A deste trabalho. Cabe ressaltar que a proposta foi elaborada para a usinagem em um equipamento CNC de três eixos e, se uma máquina de quatro ou cinco eixos estiver disponível, alguns postigos não precisarão ser criados, simplificando o processo. Esta proposta pode ser facilmente adaptada para estes casos por um profissional com experiência em projeto e fabricação de moldes.

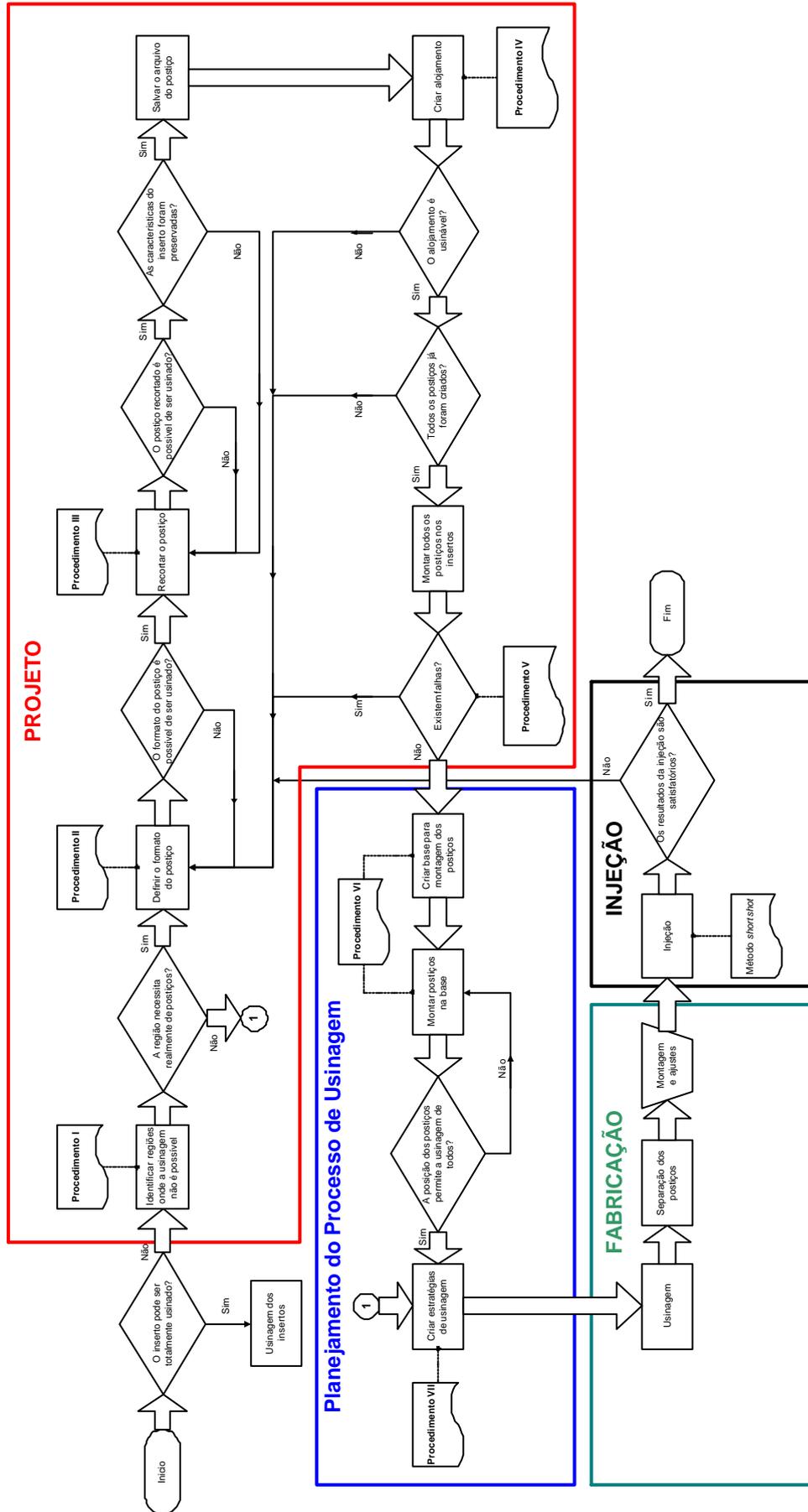


Figura 3.1 - Fluxograma das etapas da sistemática.

## 3.2 Descrição das Etapas Envolvidas na Sistemática Proposta

### 3.2.1 Etapa de Projeto

A etapa de Projeto é composta por seis passos nos quais serão definidos o formato e a quantidade de posições para cada inserto, utilizando para isto um aplicativo CAD (*Computer Aided Design*). Basicamente, existirão dois tipos de posições: os removíveis e os fixos. Os posições removíveis imitam um sistema de gaveta e serão utilizados em regiões onde a retirada da peça da cavidade é dificultada por ângulos negativos ou regiões de contra-saída, como cliques de fixação. Para isto, os posições são extraídos junto com a peça injetada, desmontados da mesma, e alocados novamente nos insertos para um novo ciclo de injeção (Figura 3.2 (a), (b) e (c)). Já os posições fixos são aqueles que permanecerão nos insertos ao longo de todo o ciclo de injeção. Em ambos os casos, o formato dos posições deverá ser condizente com o processo de usinagem a ser empregado (fresamento com o uso de uma máquina CNC com três eixos).

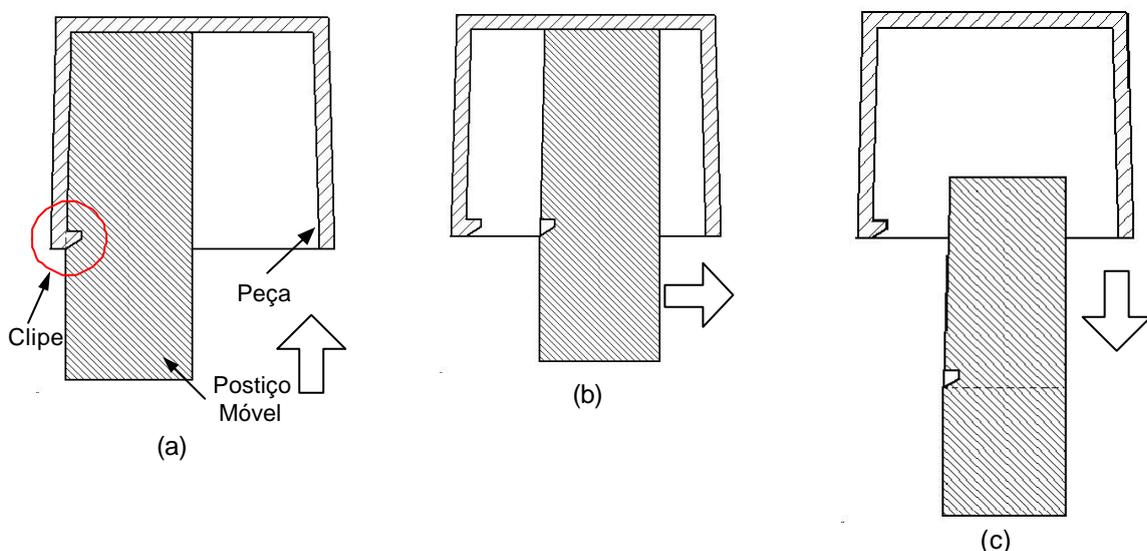
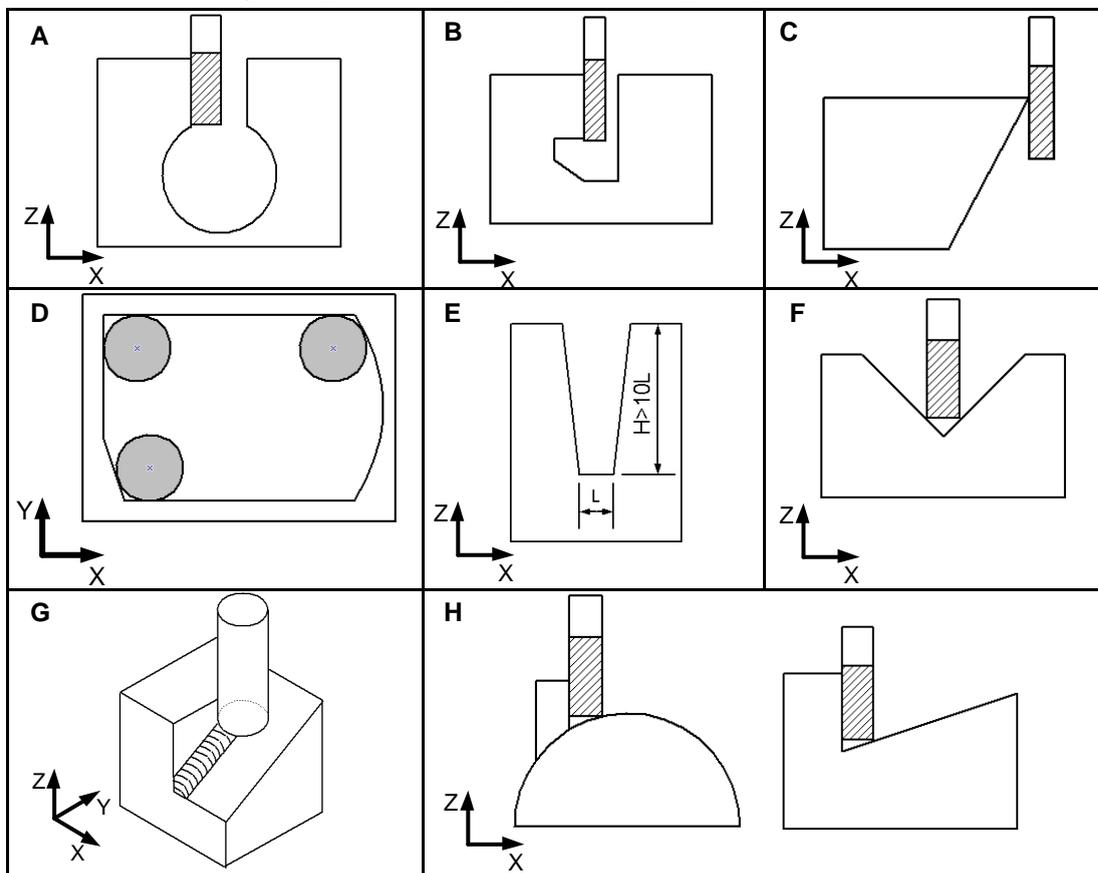


Figura 3.2 - Exemplo de funcionamento de um posição removível.

O primeiro passo da etapa de Projeto é a identificação das regiões nos insertos em que a usinagem 3 eixos não será capaz de reproduzir. Para auxiliar nesta identificação, propõe-se o uso de uma tabela (Tabela 3.1) que foi elaborada agrupando algumas das principais limitações do fresamento 3 eixos em moldes de injeção. Os itens A, B e C desta tabela representam regiões consideradas negativas

em que a ferramenta de corte não consegue ter acesso para a usinagem. No item D são representados os problemas ocasionados por regiões que contém cantos retos e que não podem ser usinados devido à forma da ferramenta. Na letra E é exemplificado o problema verificado por VOLPATO e AMORIM (2004), com relação a usinagem de canais que formam nervuras nos inserts. Em F, G e H são mostradas as regiões que acabam tendo sobra de material, ou seja, material não removido ao final da usinagem. Esta tabela contém os exemplos de regiões problemáticas identificadas até o momento e poderá ser expandida caso outras regiões diferentes sejam identificadas.

Tabela 3.1 - Limitações geométricas para a usinagem por fresamento em 3 eixos.



H= altura, L= largura

Após a identificação de todas as regiões problemáticas as mesmas deverão ser analisadas para se verificar a real necessidade do uso de posições. Em certos casos, a região identificada como problemática não irá desempenhar papel importante durante as análises ou testes aos quais os protótipos serão submetidos. Para isto, é

possível contar com o auxílio do projetista da peça que deverá informar a funcionalidade ou a importância daquela região para o protótipo. Um menor número de posições indica uma fabricação mais rápida e conseqüentemente mais barata dos insertos. Todavia, se a região realmente necessitar daquela característica, os posições deverão ser gerados dentro das suas limitações. É verificado que um dos principais problemas na geração dos posições é com relação ao seu tamanho. Posições muito pequenos ou delgados dificultam o processo de usinagem e ajuste, pois são frágeis e podem quebrar durante a fabricação.

Na seqüência, para aquelas regiões que realmente necessitem de posições os mesmos deverão ser desenvolvidos. Para isto, propõe-se que os posições que serão criados deverão respeitar uma altura mínima para que se possa dividi-los em três regiões: região da geometria, região de guia e região de ajuste (Figura 3.3). A primeira região é formada pela própria geometria do inserto responsável pela forma da peça injetada. A região de guia servirá para guiar e ajustar o posição quando o mesmo for montado no alojamento do inserto de acordo com a sua função (removível ou fixo). No caso dos posições removíveis, o ajuste deverá ser suficiente para que ele possa ser extraído com a peça injetada. Já no posição fixo, prevê-se um ajuste interferente para que o mesmo não se mova durante a extração. A terceira região (região de ajuste) será obtida por um lixamento manual após a usinagem, sem a necessidade de precisão dimensional, uma vez que o posicionamento dos posições será garantido pela região guia. As dimensões de comprimento recomendadas para cada uma destas regiões foram projetadas de modo a facilitar a fixação dos posições quando os mesmos forem usinados na etapa de Fabricação (AMORIM e VOLPATO, 2005). Além disso, os posições deverão ter um formato (geralmente com cantos arredondados) que possibilite gerar alojamentos nos insertos onde eles serão montados. Estes alojamentos também deverão ser fresados e por isso precisam de um formato condizente com o processo.

Para aquelas regiões mostradas na Tabela 3.1, são apresentadas na Tabela 3.2 algumas sugestões de formatos que contornam as dificuldades através da geração de posições. Basicamente, nesta tabela são ilustradas as regiões problemáticas divididas em porções que geram posições possíveis de serem usinados. Ressalta-se novamente que para outras regiões problemáticas que não

estão contidas na Tabela 3.1, o usuário poderá, por analogia, gerar soluções de postigos usináveis.

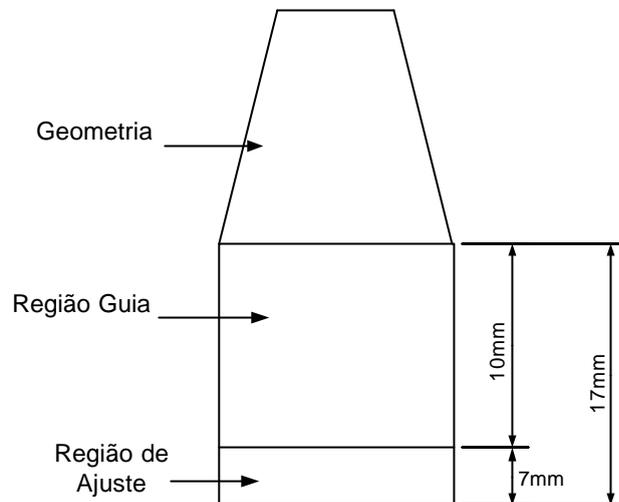


Figura 3.3 - Regiões dos postigos.

Definidas as regiões que serão postigadas e o formato que terão os postigos, inicia-se o recorte da geometria dos mesmos no CAD. A partir do modelo 3D do inserto contendo todos os detalhes, os recortes são elaborados seguindo os passos descritos no Procedimento III (Apêndice A).

Terminado o recorte, o postigo é submetido a uma análise para verificar se é possível a sua usinagem e se as características do inserto (como o ângulo de saída) não foram alteradas. Após isto, o arquivo CAD é salvo com outro nome em um local adequado para ser usado posteriormente na criação do alojamento no inserto.

O alojamento de cada postigo é criado através de operações *booleanas* no próprio CAD, onde é realizada a inserção do arquivo do postigo no arquivo do inserto e posterior subtração do segundo pelo primeiro. Esta operação tem a vantagem de interligar os arquivos e garantir que qualquer modificação feita na geometria do postigo altere automaticamente o formato do alojamento. Todavia, uma desvantagem também pode ser verificada. Como o alojamento terá as mesmas dimensões do postigo, não será possível a montagem direta dos mesmos após a usinagem, sendo necessário um pequeno ajuste manual na região de guia ao final da usinagem.

Tabela 3.2 - Sugestões de formatos para posições.

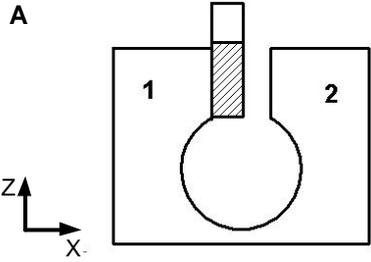
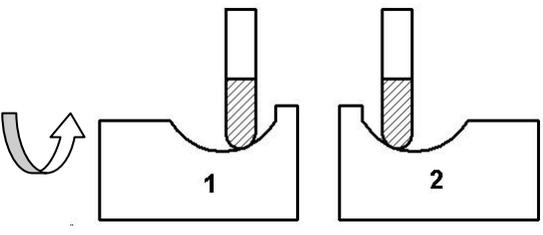
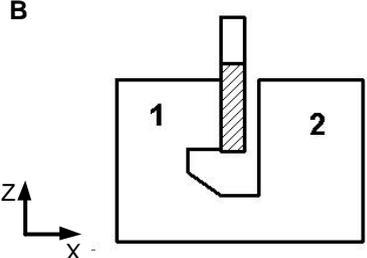
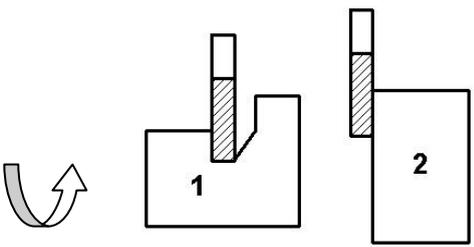
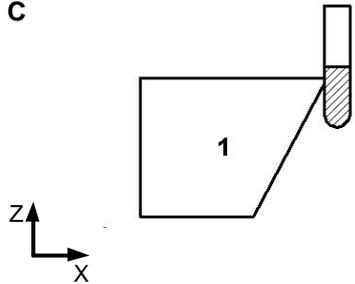
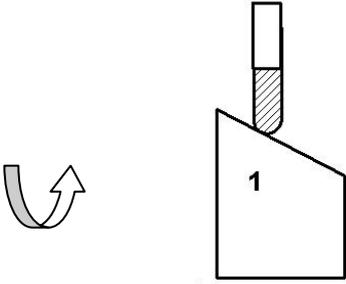
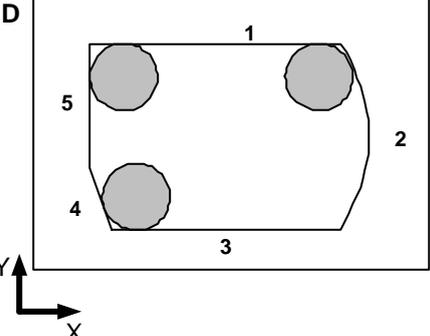
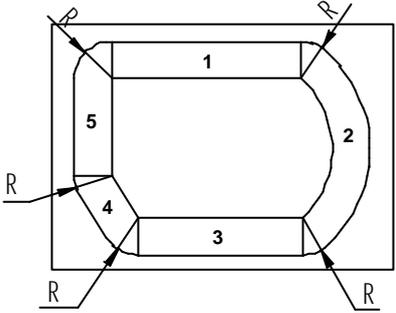
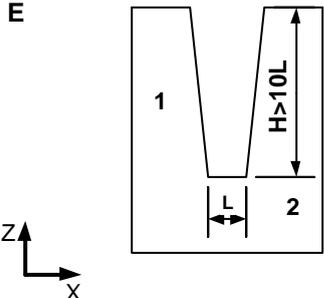
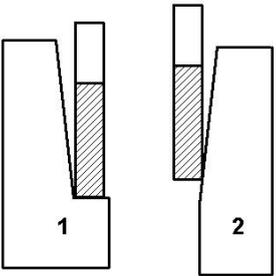
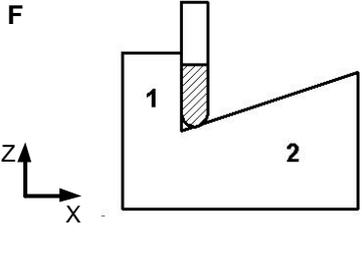
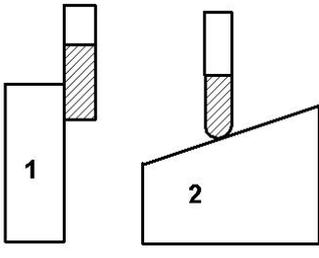
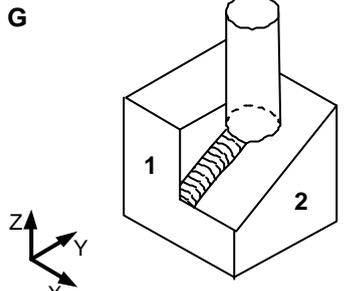
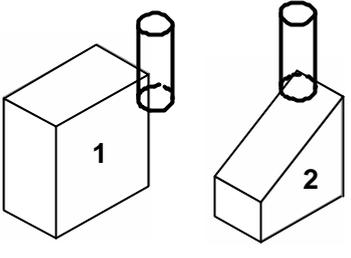
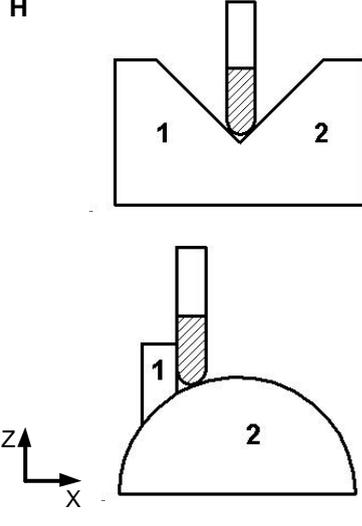
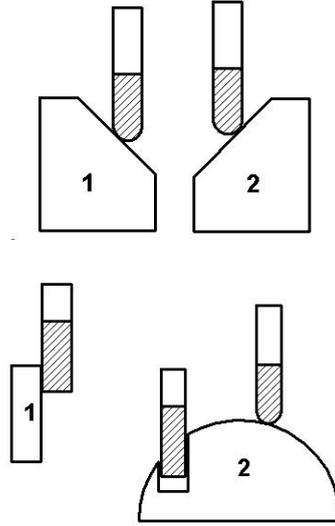
Regiões Problemáticas	Posições
<p><b>A</b></p> 	
<p><b>B</b></p> 	
<p><b>C</b></p> 	
<p><b>D</b></p> 	
<p><b>E</b></p> 	

Tabela 3.2 - Sugestões de formatos para posições (continuação).

Regiões Problemáticas	Posições
<p><b>F</b></p> 	
<p><b>G</b></p> 	
<p><b>H</b></p> 	

Após a criação de todos os posições e dos alojamentos, deverá ser realizada uma montagem entre as peças para uma verificação geral. Esta verificação irá auxiliar na visualização da ocorrência de alguma falha no recorte dos posições, principalmente com relação a geometria do inserto. Feita a montagem, este arquivo é inserido no arquivo do inserto original (sem os alojamentos, ou seja, antes da extração dos posições) e utilizando novamente operações *booleanas*, é realizada a subtração do original pela montagem. Se os recortes estiverem corretos a tela ficará vazia indicando que o arquivo com os posições montados é idêntico ao inserto antes dos recortes. Caso haja alguma falha, aparecerá na tela uma sobra de geometria

indicando que não houve a total subtração dos arquivos. Neste caso, a primeira coisa a se fazer será verificar se existe algum problema com relação ao arquivo de montagem. Caso a montagem esteja correta, o problema estará no recorte do postigo que deverá ser novamente analisado e refeito.

### 3.2.2 Etapa de Planejamento do Processo de Usinagem

Nesta etapa é definido como os insertos com os alojamentos e principalmente os postigos serão usinados. Para os insertos, a usinagem deve ser realizada a partir de um bloco de matéria-prima utilizando apenas uma fixação na máquina. Já para os postigos, propõe-se o agrupamento de todos para que sejam usinados a partir de um único bloco. Foi verificado no trabalho de AMORIM e VOLPATO (2005), que esta idéia facilita a usinagem dos postigos evitando que a máquina CNC precise ser preparada diversas vezes. Para isto, deve ser modelada no CAD uma base com dimensões de largura e comprimento suficientes para a montagem de todas os postigos. A espessura da mesma deverá ser igual a altura da região de ajuste do postigo (7mm), conforme mostrado anteriormente na Figura 3.3. Esta espessura garante que o bloco de matéria-prima, que será gerado a partir desta base, tenha condições de ser fixado em uma morsa quando for usinado (Figura 3.4). Desta forma, com o material preso pelas laterais, é possível que as ferramentas de corte se movam livremente sem o risco de colidir com algum sistema de fixação. Recomenda-se ainda, o uso de calços paralelos (retificados) para garantir a altura correta do bloco quando o mesmo for fixado na morsa.

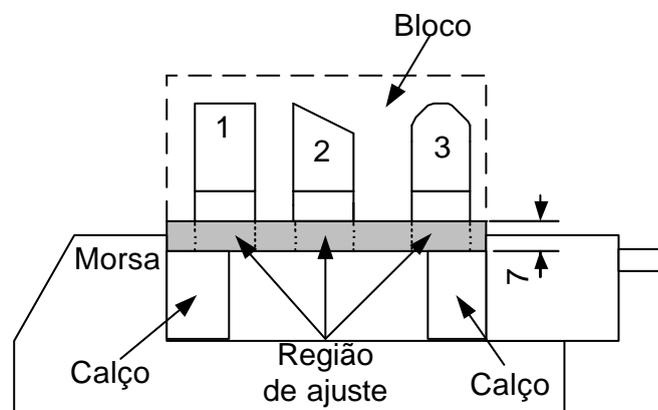


Figura 3.4 - Montagem dos postigos no bloco para usinagem única.

A montagem dos postigos na base é realizada seguindo algumas recomendações para facilitar o processo de usinagem. As características principais estão relacionadas à forma como os postigos deverão ser montados na base e a distância mínima necessária entre eles para que possam ser usinados. Esta distância deverá ser igual ao diâmetro da maior ferramenta a ser usada, mais um sobre-material que deverá ser deixado após o desbaste para a usinagem de acabamento. De acordo com AMORIM e VOLPATO (2005), foram obtidos bons resultados com um sobre-material de 0,2mm nas paredes do postigo. Desse modo, é possível verificar na Figura 3.5 como os postigos devem estar distanciados um dos outros na montagem. Outra recomendação é posicionar os postigos que necessitam de uma fixação a mais para serem usinados (por exemplo, postigos removíveis com cliques) próximos a uma das bordas da base. Dessa forma, é possível tomar/rotacionar o bloco para que estas regiões também possam ser usinadas em uma outra fixação.

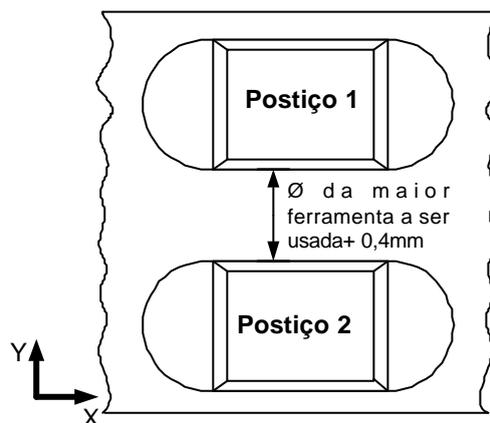


Figura 3.5 – Distância entre os postigos na base para a usinagem única.

Em seguida, o arquivo de montagem é exportado para um formato adequado que poderá ser lido pelo sistema CAM (*Computer Aided Manufacturing*). No CAM, uma das primeiras providências é a definição do zero-peça para a geometria. Para garantir uma maior precisão na altura das peças, principalmente no caso dos postigos, sugere-se que o zero no eixo Z seja feito na face inferior do bloco. Para os outros eixos (X e Y) não há uma preocupação quanto ao seu posicionamento podendo ser definido a critério do processista. Na Figura 3.6 é mostrado o zero em Z feito na face inferior do bloco.

As estratégias de usinagem podem ser divididas em desbaste e acabamento. Para cada uma, deverão ser empregados parâmetros de corte condizentes com a resina a ser usinada. Todas as estratégias deverão ser simuladas para a verificação de qualquer tipo de falha ou colisão durante a usinagem. Terminada a criação das estratégias, o programa CNC deverá ser gerado.

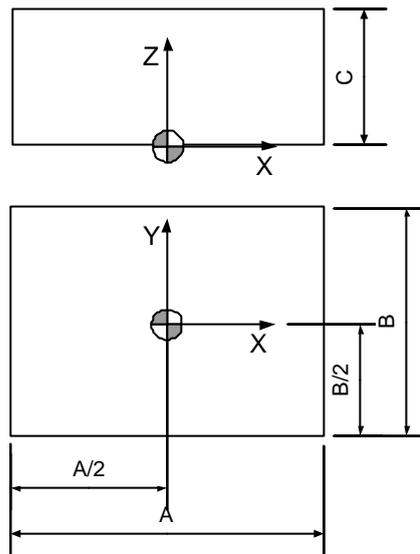


Figura 3.6 - Opções de posicionamento do zero-peça.

Com relação aos postigos, prevê-se ainda uma etapa a mais após a usinagem CNC que será a separação dos mesmos através de um recorte feito manualmente. Feito isto, os postigos deverão ser lixados para a retirada do excesso de material na região de ajuste e então montados nos insertos.

### 3.2.3 Etapa de Fabricação

A usinagem dos postigos, bem como dos insertos, é iniciada levando em consideração as informações definidas na etapa de Planejamento do Processo de Usinagem. Entre estas, pode-se dizer que a mais importante é com relação ao posicionamento das origens de programação (zeros-peça). Para os postigos esta é uma questão crucial, principalmente quando for necessária mais do que uma fixação para a usinagem de todos. Neste caso, como a posição das geometrias a serem usinadas são dependentes umas das outras mesmo sendo obtidas em fixações

diferentes, os zeros-peça devem ser posicionados rigorosamente como definido. Caso isto não aconteça, as geometrias usinadas não coincidirão e irão gerar problemas no formato dos postigos. Dessa forma, o operador do centro de usinagem deverá tomar um cuidado maior quando realizar os zeros-peça em cada fixação. Outra questão verificada é com relação ao tamanho dos programas CNC, que por serem gerados pelo CAM acabam sendo muito extensos e necessitam do emprego de um DNC (*Direct Numeric Control*) no momento da usinagem.

No caso dos postigos, após a usinagem única é feita a separação dos mesmos através de recorte com o auxílio de uma serra fita. A sobra de material logo abaixo da região de ajuste (devido ao recorte) deverá ser retirada através de lixamento. Esta operação poderá ser realizada tanto de forma manual com uma lixa ou com o auxílio de uma retífica manual. No segundo caso, a retirada do material deverá ser mais rápida e menos cansativa para quem estiver realizando a operação. Como descrito anteriormente, esta é uma região que não necessita de precisão dimensional, podendo ser obtida com menos esmero por parte do operador. No entanto, é importante lembrar que as faces inferiores de cada postigo não devem ser lixadas, pois a altura dos mesmos é definida no recorte feito no CAD e respeitada durante a usinagem CNC (Figura 3.7).

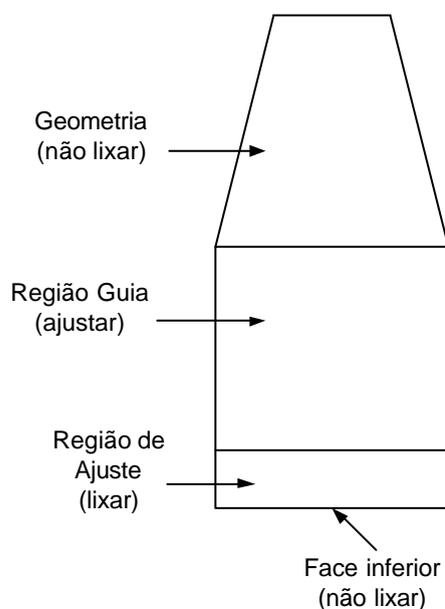


Figura 3.7 - Indicação das regiões de lixamento no postigo.

Com os postigos recortados e lixados na região de ajuste é feita a montagem dos mesmos nos alojamentos dos insertos. Todavia, como descrito na etapa de Projeto, será necessário um pequeno ajuste com lixa para que possa ocorrer a montagem. Para facilitar este processo indica-se que os alojamentos não sejam lixados e que o ajuste seja feito retirando-se material apenas dos postigos. No caso dos postigos fixos, em que a montagem deverá ser interferente, a retirada de material deve ser apenas o suficiente para que o postigo possa ser montado. Para os postigos removíveis (aqueles que serão extraídos junto com o moldado) a folga entre a dimensão do mesmo e a dimensão do alojamento deverá ser um pouco maior. Mesmo assim, esta folga deve ser suficiente apenas para que o postigo possa ser extraído tomando-se o cuidado para evitar um lixamento excessivo, pois poderão resultar em folgas e conseqüentemente rebarbas na peça injetada.

#### **3.2.4 Etapa de Injeção**

A etapa de Injeção ocorre inicialmente com a montagem dos insertos com os postigos nos alojamentos de um porta-molde. Na seqüência, os extratores são montados e ajustados conforme a geometria do inserto macho. O porta-molde é então fixado na injetora e iniciado os ajustes dos parâmetros de processo. Esta é uma etapa importante e deverá ser realizada com cuidado e atenção para que não ocorram danos aos insertos antes da injeção do primeiro protótipo. Em moldes de produção geralmente este ajuste é feito baseado na experiência do operador e em tentativas empíricas até a injeção da primeira peça boa. Porém, em moldes-protótipo, se faz necessário que o número de ciclos utilizado para se obter a primeira peça adequada seja minimizado como forma de evitar a degradação dos insertos (CAVALHEIRO *et al.*, 2005, AMORIM *et al.*, 2006). Sugere-se para isto, o uso do método *Short Shot* criado por BARRY *et al.* (1995), que é um procedimento que possibilita a preparação da máquina de maneira rápida e sistemática, minimizando danos aos insertos. Neste método, os ajustes são realizados na seguinte seqüência: curso de dosagem, checagem da velocidade de injeção, ajuste da pressão de injeção, ajuste do tempo de injeção e ajuste do tempo de recalque. Apesar de várias fases, o método *Short Shot* possibilita, em poucas injeções, encontrar os parâmetros

mais adequados para a geometria dos insertos e o material do protótipo. Este método pode ser visto no Anexo A deste trabalho.

A cada ciclo de injeção os insertos são resfriados com ar comprimido até uma certa temperatura que determina o início de um novo ciclo. O controle para isto pode ser realizado por um termômetro com leitura direta e medição em vários pontos dos insertos. Outro ajuste que deve ser verificado é com relação ao tempo de solidificação do material dentro da cavidade do molde. Este tempo deverá ser significativamente maior do que o observado em moldes metálicos e o seu ajuste dependerá do material dos insertos e do polímero a ser injetado. O tempo mais longo se dá em função da baixa condutividade térmica que é uma característica das resinas poliméricas.

### **3.3 Requisitos para Aplicação da Sistemática**

Para que a sistemática possa ser empregada de forma satisfatória se faz necessário cumprir alguns requisitos para cada uma das etapas. Na Tabela 3.3 são apresentados estes requisitos e a finalidade de cada um.

Apesar de não descrito na Tabela 3.3, cada uma das etapas da sistemática necessitará de pessoas que possuam conhecimentos inerentes a etapa que estará sendo trabalhada. Nesse caso, para a etapa de Projeto a pessoa deverá saber utilizar um sistema CAD 3D, além de conhecer algumas características do processo de injeção de plástico. Para a etapa de Planejamento do Processo de Usinagem é necessário que a mesma saiba trabalhar com sistema CAM e também tenha conhecimentos da área de usinagem, principalmente com relação ao processo de fresamento. A etapa de Fabricação deverá ser cumprida por um operador de centro de usinagem que tenha condições de ler e interpretar programas CNC. Por último, na etapa de Injeção, a pessoa deverá ter conhecimentos do processo e da operação e preparação de máquinas injetora, bem como do funcionamento de um molde. Não necessariamente cada etapa precisa ser realizada por um profissional distinto. É possível que uma única pessoa desempenhe todas as atividades, desde que a mesma tenha condições de cumprir os requisitos necessários.

Tabela 3.3 - Requisitos para o emprego da sistemática.

Etapas	Requisitos	Objetivos	Detalhes
Projeto	Sistema CAD	Criar insertos Criar posições	Realizar operações de recorte Realizar operações <i>booleanas</i> Possibilitar montagens
Processo	Sistema de CAD	Preparar posições para a usinagem única	Possibilitar montagens
	Software de CAM	Criar estratégias de usinagem Gerar programa CNC	Possibilitar a geração de estratégias de usinagem para geometrias complexas Fazer simulações de usinagem Verificar possíveis colisões Pós processar programa CNC
Fabricação	Resina polimérica	Matéria-prima para a fabricação dos insertos e posições	Ser usinável Resistir ao processo de injeção
	Centro de usinagem CNC	Usinar insertos e posições	Ser um centro de usinagem de no mínimo 3 eixos
	DNC	Possibilitar a usinagem <i>online</i>	Gerenciar o envio de blocos do programa CNC para o centro de usinagem
	Serra fita	Separar os posições	
	Retífica manual	Ajuste dos posições	
Injeção	Injetora	Injetar os protótipos	Injetora horizontal
	Material polimérico	Material a ser injetado	Material condizente com o projeto da peça
	Porta-molde	Alocar os insertos	Possível de ser fixado na injetora
	Termômetro	Medir temperatura dos insertos	Medição direta da temperatura a cada ciclo
	Ar comprimido	Refrigerar os insertos	A cada injeção os insertos deverão ser resfriados

## 4 ESTUDOS DE CASO PARA A VALIDAÇÃO DA SISTEMÁTICA

Como forma de verificar o funcionamento de cada uma das etapas da sistemática, foram escolhidas inicialmente, duas peças de plástico com geometrias diferentes. Com estas peças a sistemática foi inteiramente testada, desde o projeto dos postigos até a injeção dos protótipos. Mais especificamente para a análise da etapa de Projeto, que pode ser considerada a mais importante uma vez que as demais são dependentes dela, foram realizados dois testes adicionais. No primeiro, foi solicitado a três colaboradores, usuários de sistemas CAD (*Computer Aided Design*) diferentes, que projetassem postigos para uma peça seguindo os passos da etapa de Projeto. Deste modo, foi possível fazer uma comparação entre os resultados obtidos por usuários diferentes e com sistemas CAD distintos. No segundo teste, foram escolhidas duas peças onde seria necessário o emprego de diversos postigos para a reprodução dos insertos. Com isto, foi possível verificar a dificuldade em se constituir insertos utilizando uma quantidade elevada de postigos.

### 4.1 Estudo de caso 1

O objetivo deste primeiro estudo de caso foi além de verificar a criação e fabricação de um molde-protótipo utilizando postigos, analisar o comportamento dos mesmos (postigos fixos e removíveis) durante o processo de injeção.

#### 4.1.1 Apresentação da Geometria e dos Insertos

Para este primeiro teste da sistemática, foi projetada uma peça com geometria relativamente simples, porém, intencionalmente com regiões onde se faz necessário o emprego de postigos fixos e removíveis. A peça 1, chamada de peça teste, tem espessura constante de 2mm e um ângulo de saída de  $1,5^\circ$ . Em um dos seus lados, na parte interna, a mesma possui um clipe que necessita de um postigo removível para que o mesmo seja injetado e depois extraído (Figura 4.1). É interessante que este postigo possa ser extraído apenas pelo moldado sem a necessidade de

extratores para empurrá-lo. Esta idéia deve facilitar o projeto dos inserts e também do porta-molde e por isto optou-se por verificá-la neste estudo inicial.

A dimensão do clipe é mostrada no detalhe da Figura 4.1 e indica que a usinagem do mesmo só pode ser realizada com uma ferramenta com no máximo 1mm de diâmetro. Outra característica desta peça é uma nervura delgada no seu centro (com dimensões de 2x28mm), que deve ser formada por um canal no inserto macho. A fabricação deste canal não é possível de ser obtida por usinagem direta, uma vez que a relação entre a altura (H) e a largura (L) do mesmo ultrapassa a relação usual encontrada em ferramentas de corte padronizadas ( $H=10L$  - SKF, 1987). Por último, os cantos retos externos, que deverão ser formados pelo inserto fêmea, também necessitarão de posições para serem reproduzidos.

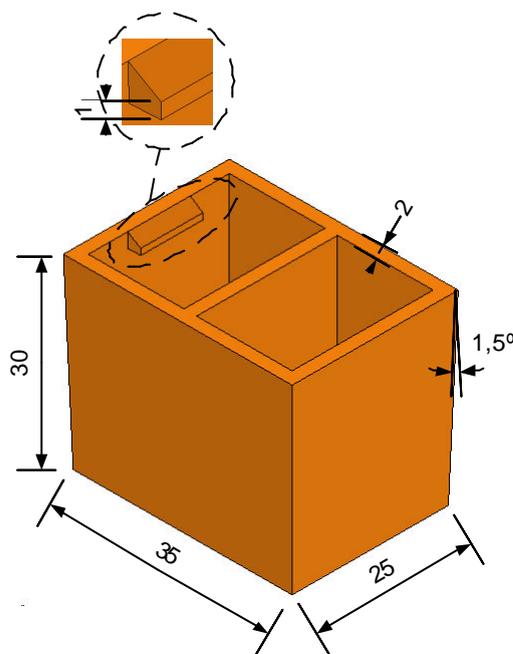
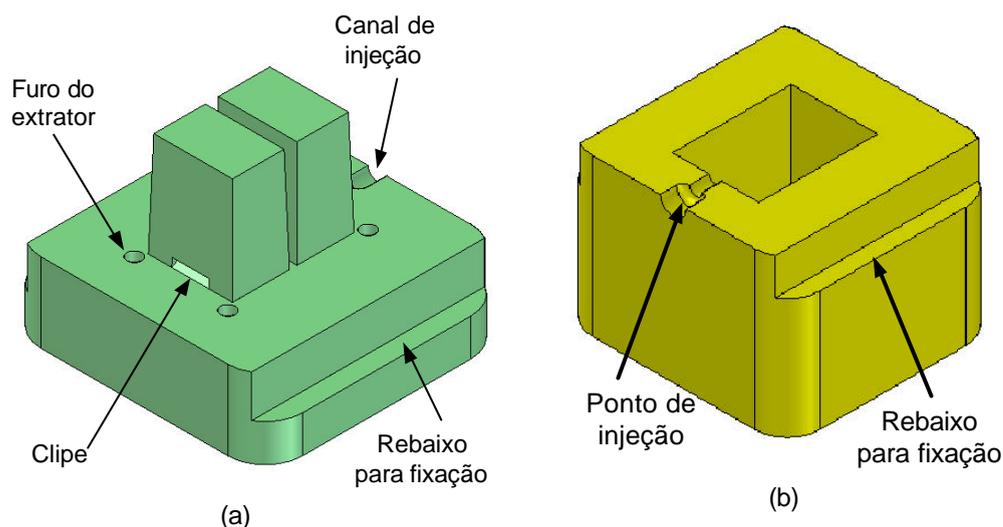


Figura 4.1 - Geometria da peça 1.

Utilizando o sistema CAD Solidedge V18, os inserts macho e fêmea foram gerados como podem ser vistos nas Figura 4.2 (a) e (b), respectivamente. Pode-se observar também nestas mesmas figuras, que ambos os inserts possuem dois rebaixos em suas laterais que foram projetados para fixá-los no porta-molde durante a injeção dos protótipos.

Apesar do porta-molde possibilitar o posicionamento do ponto de injeção no centro da geometria, é possível verificar nas Figura 4.2 (a) e (b) que o mesmo foi

posicionado nas laterais dos dois insertos. Optou-se por esta posição, uma vez que não se tinha conhecimento do comportamento da resina fazendo-se a injeção pelo centro do molde. Além disso, VOLPATO *et al.*, (2003) tiveram bons resultados utilizando a injeção pela lateral em seus insertos. O formato do ponto de injeção também foi escolhido com base neste mesmo trabalho.



Para o projeto e a fabricação dos postigos e dos alojamentos nos insertos, foram seguidos os passos de cada uma das etapas da sistemática. Estes passos fazem parte do fluxograma apresentado na Figura 3.1 e são sumarizados também na Tabela 4.1.

Na etapa de Fabricação, os blocos de resina para os insertos e para os postigos são cortados e esquadrejados nas dimensões definidas na etapa de Planejamento do Processo de Usinagem. Em seguida, no caso dos insertos, devem ser usinados primeiro os raios das laterais da parte de baixo e depois virado o bloco para a usinagem dos raios agora da parte superior. Nesta mesma fixação, são usinados os rebaixos para que os insertos sejam fixados no porta-molde e o restante da geometria do inserto. No caso do inseto macho é prevista ainda, uma etapa a mais que é o alargamento dos furos de passagem dos extratores com uma broca helicoidal. Como esta operação necessita de uma nova fixação e, conseqüentemente, uma nova preparação da máquina, é interessante que a mesma

seja realizada em uma furadeira de bancada. Já para os postigos, é previsto a separação dos mesmos da base, ajuste e montagem nos alojamentos dos insertos.

Tabela 4.1 - Sumário dos passos da sistemática.

<b>Etapa</b>	<b>Passos</b>	<b>Recurso utilizado</b>
Projeto	1º. Identificação das regiões onde a usinagem não é possível de ser realizada	Tabela 3.1
	2º. Definição do formato dos postigos para as regiões identificadas	Tabela 3.2
	3º. Recorte dos postigos	Procedimento III (Apêndice A)
	4º. Criação dos alojamentos	Procedimento IV (Apêndice A)
	5º. Verificação da existência de falhas no recorte dos postigos	Procedimento V (Apêndice A)
Planejamento do Processo de Usinagem	6º. Criação de uma base para a montagem dos postigos	Procedimento VI (Apêndice A)
	7º. Montagem dos postigos na base	Procedimento VI (Apêndice A)
	8º. Criação das estratégias de usinagem para os postigos e insertos	Procedimento VII (Apêndice A)
Fabricação	9º. Usinagem dos postigos e dos insertos	-
	10º. Separação dos postigos da base	-
	11º. Ajuste e montagem dos postigos nos insertos	-
Injeção	12º. Injeção dos protótipos	Método <i>Short Shot</i> (Anexo A)

Ao término da usinagem e montagem dos postigos e dos insertos, os mesmos devem ser colocados nos alojamentos do porta-molde e na seqüência os extratores ajustados conforme o inserto. Os valores dos parâmetros de injeção (temperatura de injeção, velocidade de injeção, pressão de injeção, pressão de recalque e tempo de recalque) são ajustados seguindo os passos do método *Short Shot*, mostrado no Anexo A.

Para que os insertos sejam preservados, a injetora deve ser ajustada para iniciar o ciclo de injeção somente após o resfriamento dos insertos com ar comprimido. Neste caso, após a abertura do molde e extração da peça injetada, o operador deve resfriar os insertos até uma temperatura determinada e iniciar um novo ciclo de injeção. O valor da temperatura é de 42 °C, baseado no estudo feito por VOLPATO *et al.* (2003). A temperatura deve ser medida em diversos pontos, podendo utilizar para isto um termômetro infravermelho.

A quantidade de peças a serem injetadas foi definida com base no estudo realizado por AMORIM *et al.* (2006), sobre o uso de protótipos em empresas que desenvolvem seus produtos. Neste trabalho, os autores verificaram que nas empresas consultadas são utilizados em média 100 protótipos durante o projeto de um novo produto. Deste modo, estipulou-se este valor como limite de peças a serem injetadas no teste da última etapa da sistemática.

#### 4.1.2 Recursos Utilizados no Estudo de Caso 1

Na Tabela 4.2, são apresentados os recursos que foram empregados em cada uma das etapas testadas neste estudo de caso. Todos os recursos escolhidos satisfazem aos requisitos necessários que foram mostrados na Tabela 3.3.

Os sistemas CAD e CAM (*Computer Aided Manufacturing*) escolhidos (Solidedge e Powermill, respectivamente) podem ser encontrados em empresas que trabalham com projeto e fabricação de moldes. O Solidedge possibilita a realização de modelagem 3D e montagem de sistemas mecânicos, além de possuir a opção de realizar operações *booleanas*, que são importantes para a etapa de Projeto. O módulo três eixos do Powermill possibilita a criação de diversas estratégias de usinagem para a fabricação de moldes de injeção de plástico com geometrias consideradas complexas.

A resina utilizada na fabricação dos insertos e dos postigos foi a Ren Shape 5166 produzida pela empresa Huntsman. Como apresentado no item 2.6.1, esta resina é empregada na fabricação de ferramentas de estampagem para a produção de protótipos ou pré-séries. Todavia, em um trabalho feito por VOLPATO *et al.* (2003) esta resina foi usada na fabricação de um molde-protótipo para a injeção de

uma geometria simples em PP (Polipropileno). Como os resultados foram satisfatórios, buscou-se dar continuidade a este trabalho usando a mesma resina e o mesmo material para a injeção dos protótipos.

Tabela 4.2 - Recursos utilizados no estudo de caso 1.

<b>Etapas</b>	<b>Requisitos</b>	<b>Recursos</b>
Projeto	Sistema CAD	Solidedge V18
Planejamento do Processo de Usinagem	Sistema CAD	Solidedge V18
	Sistema CAM	Powermill 5.5, módulo três eixos
Fabricação	Resina polimérica	Ren Shape 5166 (placa)
	Centro de usinagem CNC	Centro de usinagem três eixos Romi Discovery 4022
	DNC	DNC CIMCO Edit 4
	Serra fita	Serra fita convencional
	Retífica manual	Retífica manual Dremmel
Injeção	Injetora	Injetora Romi Primax 65R
	Material polimérico	PP PRB 4215 da empresa Ipiranga
	Porta-molde	Porta-molde com alojamentos para insertos
	Termômetro	Termômetro infravermelho MT-350 da marca Minipa. Precisão de $\pm 2^{\circ}\text{C}$

O porta-molde empregado para alocar os insertos foi projetado e fabricado pelo NUFER/UTFPR (Núcleo de Prototipagem e Ferramental/Universidade Tecnológica Federal do Paraná) para ser usado em pesquisas na área de injeção de plástico em moldes-protótipo. Este projeto foi baseado no porta-molde que vêm sendo utilizado nos trabalhos do CIMJECT/UFSC (Laboratório de Projeto e Fabricação de Componentes de Plástico Injetados/Universidade Federal de Santa Catarina) entre eles os apresentados por GOMIDE (2000) e por AHRENS *et al.* (2002). As suas principais características estão na utilização de insertos de tamanhos variados e na possibilidade de posicionar os extratores de acordo com uma matriz de furos que

contém a placa suporte. O porta-molde é composto por três alojamentos diferentes (A, B e C) onde podem ser montados os insertos (Figura 4.3). O alojamento A tem dimensões de 65x70mm, o alojamento B 130x75mm e o alojamento C 130x180mm. Este último é obtido com a retirada do berço que contém o alojamento A que também é mostrado na Figura 4.3. As espessuras dos rebaixos das placas onde são montados os insertos macho e fêmea são de 20mm e de 48mm, respectivamente. Estas dimensões são medidas da base dos insertos até a superfície de fechamento dos mesmos e poderão variar caso esta superfície seja mais complexa, podendo ocorrer no interior do alojamento. A fixação dos insertos foi projetada para ocorrer através de grampos posicionados nas faces de fechamento de cada um dos lados do porta-molde. Estes grampos possibilitam a retirada dos insertos sem a necessidade de remoção do porta-molde da injetora.

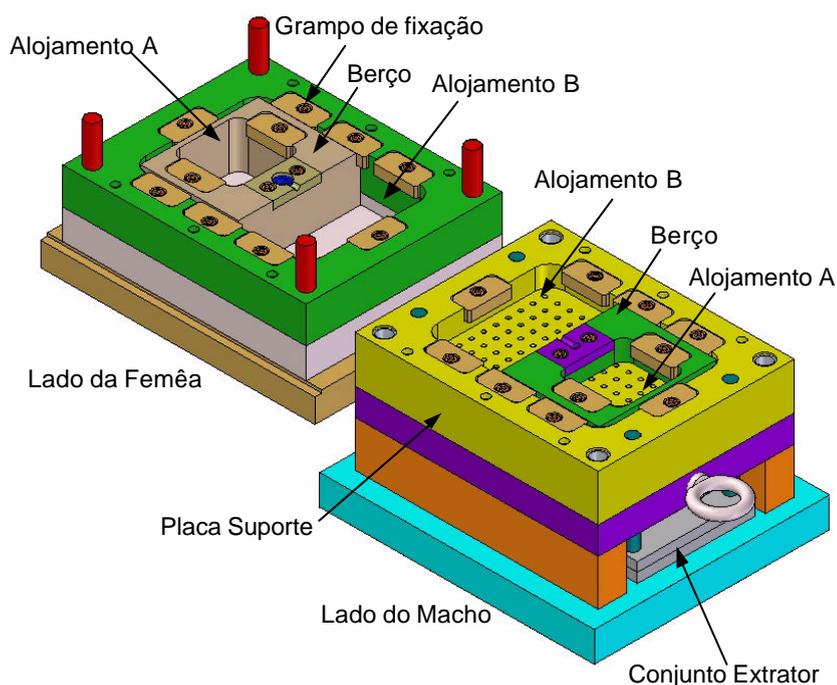


Figura 4.3 - Porta-molde utilizado para a injeção dos protótipos.

## 4.2 Estudo de Caso 2

O objetivo deste estudo de caso foi verificar a possibilidade da criação de posições para uma geometria mais complexa e o funcionamento dos mesmos

durante a injeção dos protótipos. Novamente, a sistemática foi testada em todas as suas etapas, porém, utilizando uma peça com uma geometria um pouco mais próxima de uma peça real.

#### 4.2.1 Apresentação da Geometria e dos Insertos

A peça 2 é a casca externa de um *mouse* de computador que possui algumas das principais características de uma peça de plástico, como cliques, nervuras (com dimensões de 1x12mm) e torres para a fixação de parafusos (Figura 4.4 (a) e (b)). A sua geometria possui uma espessura constante de 2mm e um ângulo de saída de 1,5° nas paredes retas. A mesma foi adaptada de uma peça real e alguns detalhes menores foram suprimidos por considerá-los de pouca relevância para o trabalho. Esta peça foi usada por AMORIM e VOLPATO (2005), para a avaliação do emprego da usinagem CNC na fabricação de postigos para moldes-protótipo. Todavia, neste trabalho não foi possível à injeção dos protótipos, incentivando assim a escolha desta geometria para um estudo de caso completo.

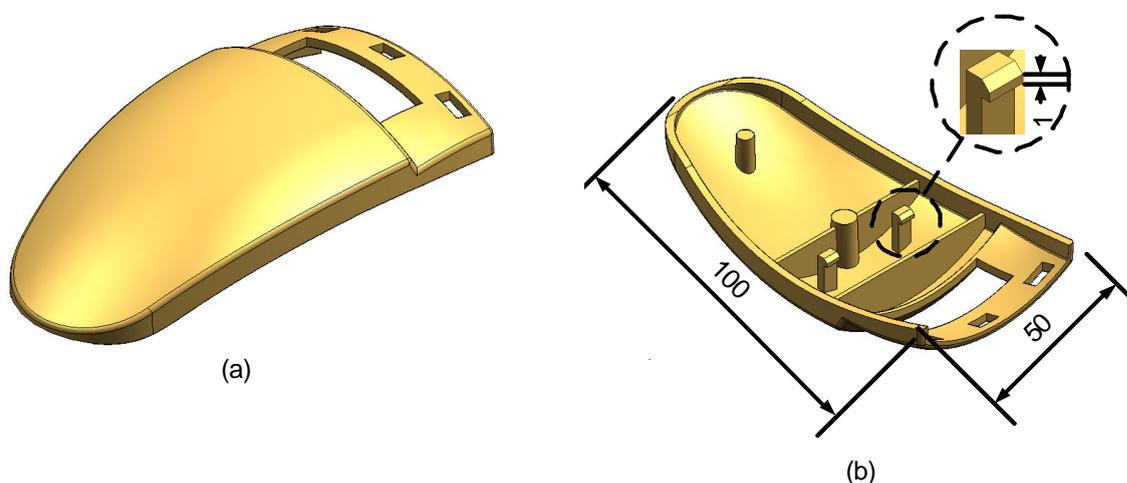


Figura 4.4 - Lado externo (a) e lado interno (b) da peça 2.

Utilizando o Solidedge, os insertos macho e fêmea foram gerados e são mostrados na Figura 4.5 (a) e (b), respectivamente. Na Figura 4.5 (a), é possível verificar que a maioria dos extratores estão localizados próximos às regiões que formam as nervuras e as torres de fixação dos parafusos. A partir de uma orientação feita por um projetista de moldes de injeção, os extratores foram posicionados

nestas regiões para garantir a extração da peça. Segundo o projetista, estas regiões são consideradas as mais susceptíveis a prenderem no inserto macho devido à contração da peça após o resfriamento. É possível verificar nas Figura 4.5 (a) e (b) que o ponto de injeção também está posicionado na lateral dos insertos e tem o mesmo formato utilizado na peça 1. Os motivos para isto foram os mesmos explicados no item 4.1.1.

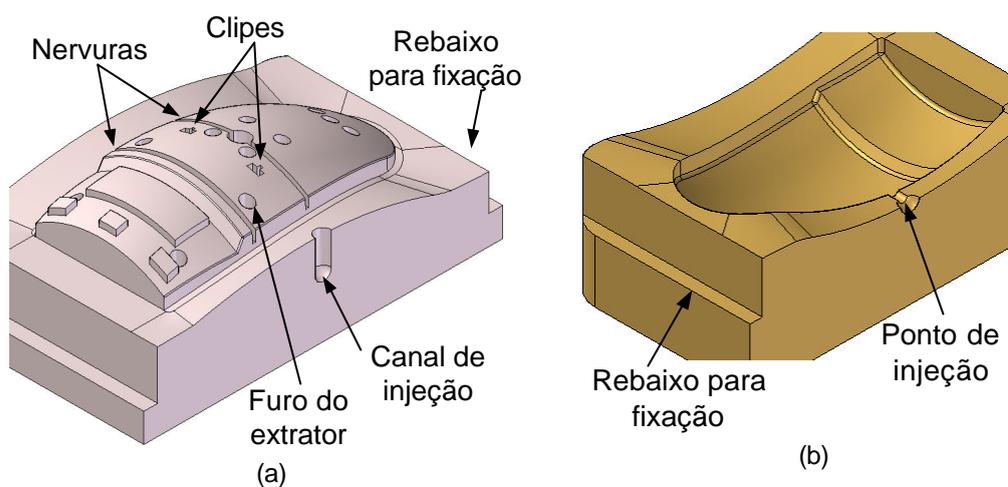


Figura 4.5 - Insertos macho (a) e fêmea (b) gerados para a peça 2.

A fabricação dos postigos e dos insertos para esta peça, inicia-se também com uma etapa de preparação dos blocos de resina. Deste modo, os blocos devem ser primeiro cortados e esquadrejados nas dimensões definidas na etapa de Planejamento do Processo de Usinagem. Para os insertos, os cantos dos blocos devem ser arredondados para poderem ser encaixados no porta-molde. Porém, devido ao formato dos alojamentos, nos quais eles serão montados (alojamentos B - Figura 4.3), os cantos são arredondados em somente um dos lados dos blocos. A fixação de todas as peças é feita através de uma morsa e as origens de programação (zeros-peça) de cada uma realizada conforme planejado na etapa anterior à fabricação. No caso do inserto macho, após a sua usinagem, também é necessário realizar o alargamento dos furos de passagem dos extratores utilizando para isto uma furadeira de bancada.

Os parâmetros de injeção para os protótipos da peça 2 também serão ajustados seguindo os passos do método *Short Shot*, apresentado no Anexo A. A

temperatura definida para início de cada ciclo de injeção é de 42 °C, uma vez que os protótipos também serão injetados no mesmo material da peça 1 (PP - PRB 4215). A quantidade de peças a serem injetadas também será de 100 protótipos.

Neste estudo de caso foram seguidos os mesmos passos apresentados na Tabela 4.1 e utilizado para isto, os recursos listados na Tabela 4.2.

### **4.3 Estudo de Caso 3 - Avaliação da Etapa de Projeto por Outros Usuários**

Como observado, na etapa de Projeto são definidos os postigos e os alojamentos nos quais eles serão montados nos insertos. Deste modo, uma definição equivocada no formato dos postigos pode inviabilizar a sua fabricação e, conseqüentemente, as demais etapas da sistemática. Por isto, procurou-se verificar como outros usuários interpretariam os passos da etapa de Projeto e qual o formato de postigos que eles criariam.

#### **4.3.1 Escolha dos Colaboradores e Treinamento Inicial para o Estudo de Caso 3**

Para este estudo, foram escolhidas duas pessoas que trabalham com modelagem 3D de peças diversas e uma terceira que desenvolve projetos de moldes de injeção de plástico. Apesar de nem todos os escolhidos possuírem experiência na área de moldes, o objetivo principal deste estudo de caso foi verificar o entendimento dos passos e dos procedimentos da etapa de Projeto por outros usuários. A experiência de cada um dos colaboradores e o sistema CAD utilizado por eles são apresentados na Tabela 4.3.

Inicialmente, as pessoas escolhidas para os testes foram submetidas a um treinamento ministrado pelo autor em que foram usados os Procedimentos I, II, III, IV e V (Apêndice A) para explicar os objetivos e o funcionamento desta etapa. Neste treinamento, que durou aproximadamente 40 minutos, foi utilizada a geometria da peça 1 (peça teste - Figura 4.1) para explicar como os recortes e a criação dos alojamentos deveriam ser realizados. Na seqüência, foi repassado aos mesmos a geometria do inserto macho da peça 2 (*mouse* - Figura 4.5 (a)) para que os usuários criassem os postigos necessários. Foi informado aos mesmos que não havia a

necessidade de serem contornadas regiões problemáticas onde a solução seria o emprego de posições muito pequenos. Durante os testes, os usuários definiram e criaram os posições que julgaram necessários, utilizando os sistemas CAD que cada um dominava e os procedimentos da etapa de Projeto.

Tabela 4.3 - Perfil dos colaboradores que testaram a etapa de Projeto.

Colaborador	Perfil (experiência)	Sistema CAD utilizado
1	Técnico em projetos. Trabalha com modelagem 3D de peças diversas.	Pro-engineer 2001
2	Estagiário de iniciação científica. Desenvolve pesquisa na área de Ferramental Rápido.	Solidedge V18
3	Projetista pleno. Trabalha com projeto de moldes de injeção de plástico.	Solidworks versão 4.1

#### 4.4 Estudo de Caso 4

Neste estudo de caso, foi verificado o comportamento da etapa de Projeto em duas peças reais, encontradas no mercado, onde se faz necessário o uso de uma quantidade elevada de posições para a reprodução total dos insertos. Buscou-se verificar também, quais seriam as dificuldades em tentar reproduzir todos os detalhes das peças com o emprego de posições. Como neste estudo os insertos não seriam fabricados, os mesmos foram gerados sem detalhes como ponto de injeção, furação para extratores e os rebaixos para a fixação no porta-molde.

##### 4.4.1 Apresentação das Geometrias e dos Insertos

A primeira geometria utilizada neste estudo de caso foi a peça 3, que é uma carcaça de GPS (*Global Positioning System*) utilizado em equipamentos agrícolas. As suas dimensões são de 158x66x12mm, espessura de parede de 2mm e ângulo de saída de 1°. Esta peça possui diversas nervuras com dimensões de aproximadamente 1x4mm e torres para fixação de parafusos no seu interior (Figura 4.6 (a) e (b)).

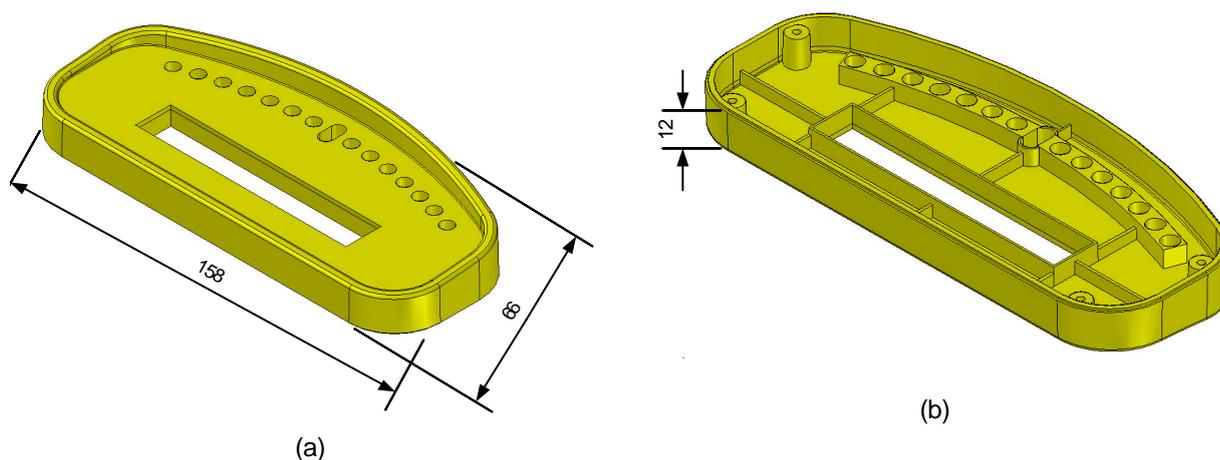


Figura 4.6 - Lado externo (a) e lado interno (b) da geometria da peça 3.

A peça 4 é denominada de recipiente e possui dimensões de 50x50x45mm, espessura de parede igual a 2mm e um ângulo de saída de 1,5°. Esta peça possui ainda seis cliques de fixação no seu interior e uma região negativa (côncava) do lado externo que também dificulta a extração do molde (Figura 4.7).

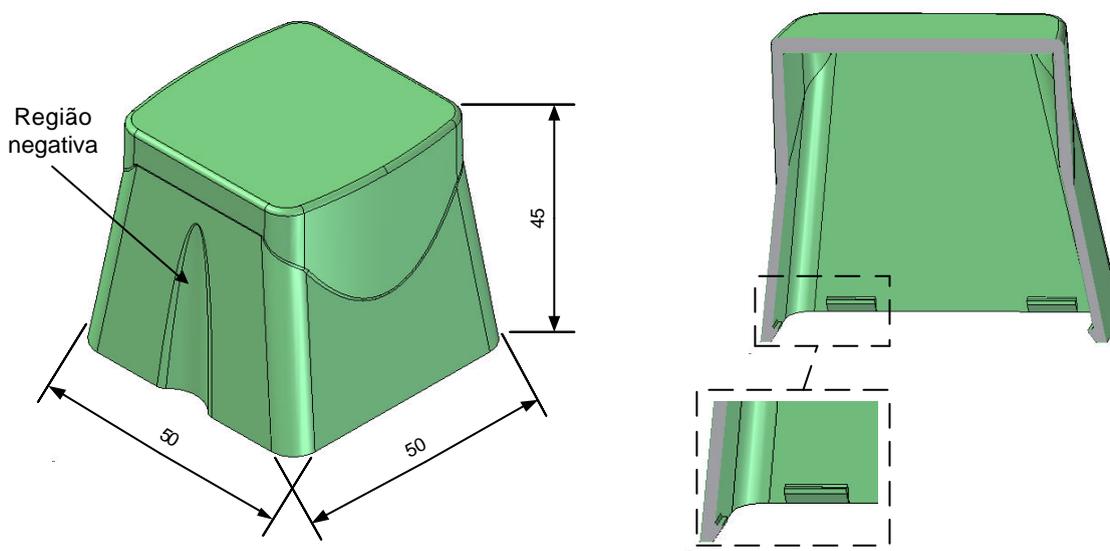


Figura 4.7 - Geometria da peça 4.

Utilizando o sistema CAD Solidedge V18, os insertos macho e fêmea para a peça 3 e para a peça 4 foram gerados (Figura 4.8 (a) e (b) e Figura 4.9 (a) e (b) respectivamente).

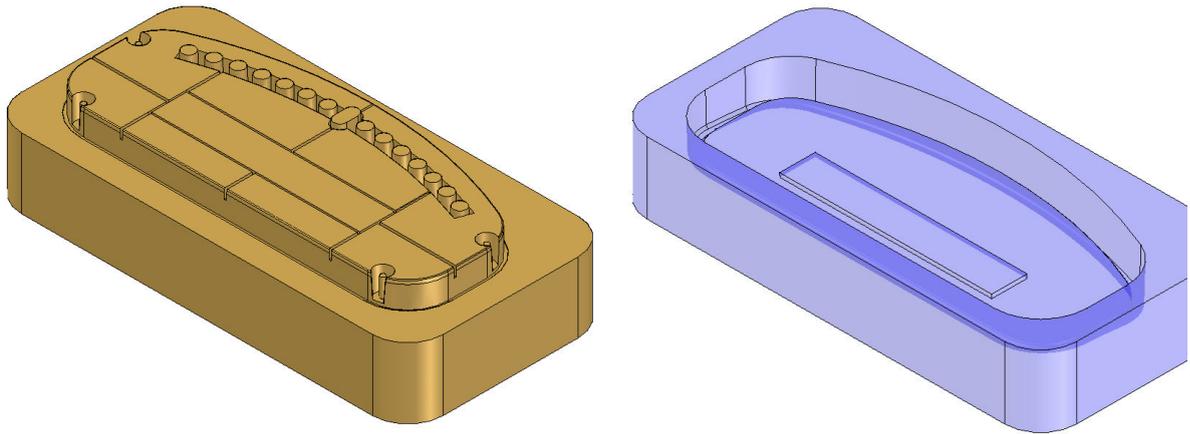


Figura 4.8 - Inseto macho (a) e inseto fêmea (b) para a peça 3.

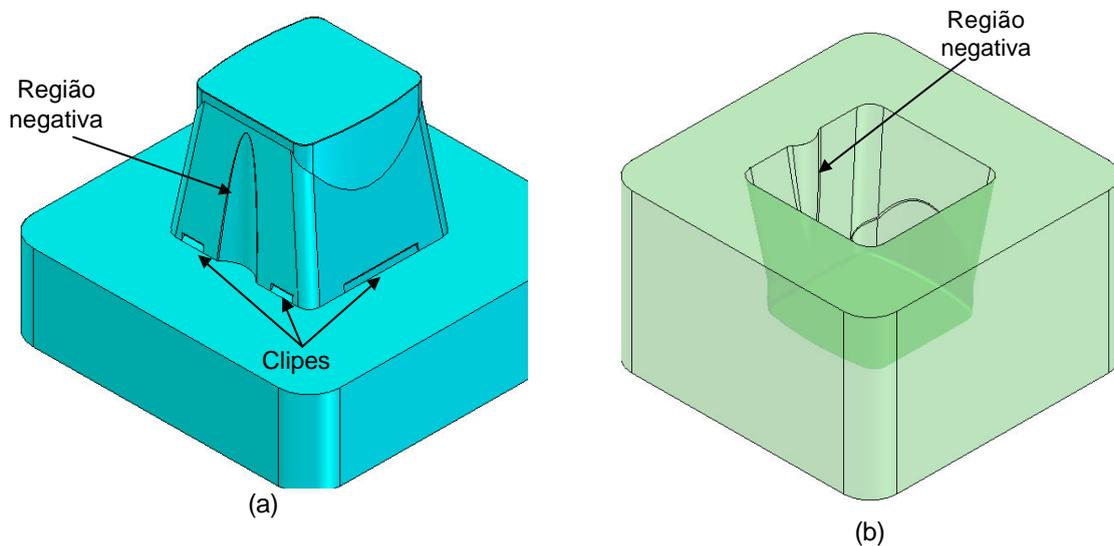


Figura 4.9 - Inseto macho (a) e inseto fêmea (b) para a peça 4.

Os passos da sistemática que foram testados neste estudo de caso foram os de 1 a 6, mostrados anteriormente na Tabela 4.1

## 5 RESULTADOS

No capítulo anterior, foram propostos quatro estudos de caso para verificar como as etapas da sistemática criada se comportariam em diferentes testes. Neste capítulo são apresentados os resultados que foram obtidos e que serviram de base para as discussões e conclusões que são descritas no capítulo seguinte. Os resultados estão apresentados na mesma seqüência dos testes realizados anteriormente.

### 5.1 Estudo de Caso 1

#### 5.1.1 Etapa de Projeto

As regiões que foram identificadas como problemáticas nos insertos da peça 1 são apresentadas nas Figura 5.1 (a) e (b). No inserto macho foram verificados na região do clipe problemas de região negativa (problema do tipo B) e de cantos retos (problemas do tipo D) além da região da nervura que apresenta um problema do tipo E. Com relação ao problema de cantos retos, foi verificado que os mesmos só poderiam ser reproduzidos se a região do clipe fosse repartida em postigos muito pequenos. Como visto no Capítulo 3, a fabricação de postigos deste tipo pode acarretar em problemas devido à sua fragilidade e dificuldade de manuseio. Deste modo, foi feita uma análise mais minuciosa da região e constatou-se que estes cantos não desempenhariam função relevante no clipe, podendo assim, serem arredondados com o raio da ferramenta (raio de 0,5mm). No inserto fêmea foram identificadas como regiões problemáticas apenas os cantos retos (problema do tipo D).

Para o inserto macho foram propostos dois postigos: um removível e outro fixo (Figura 5.2 (a)). Com relação ao inserto fêmea, foi proposta uma solução utilizando quatro postigos fixos (Figura 5.2 (b)). No caso do postigo removível no inserto macho, o mesmo foi projetado para ser destacado da geometria da peça após a extração do moldado, conforme apresentado na Figura 5.3. Já o postigo fixo, deste mesmo inserto, foi projetado para permitir a usinagem do canal que forma a nervura e deverá ficar alojado ao lado do postigo removível.

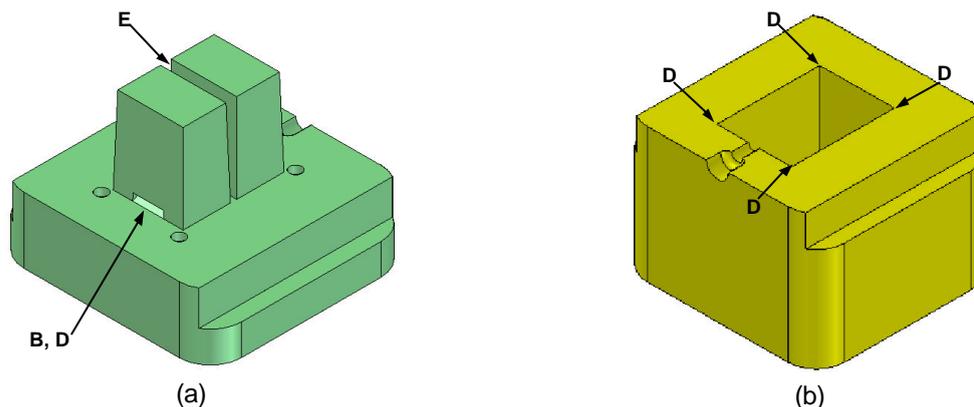


Figura 5.1 - Regiões problemáticas do inserto macho (a) e do inserto fêmea (b).

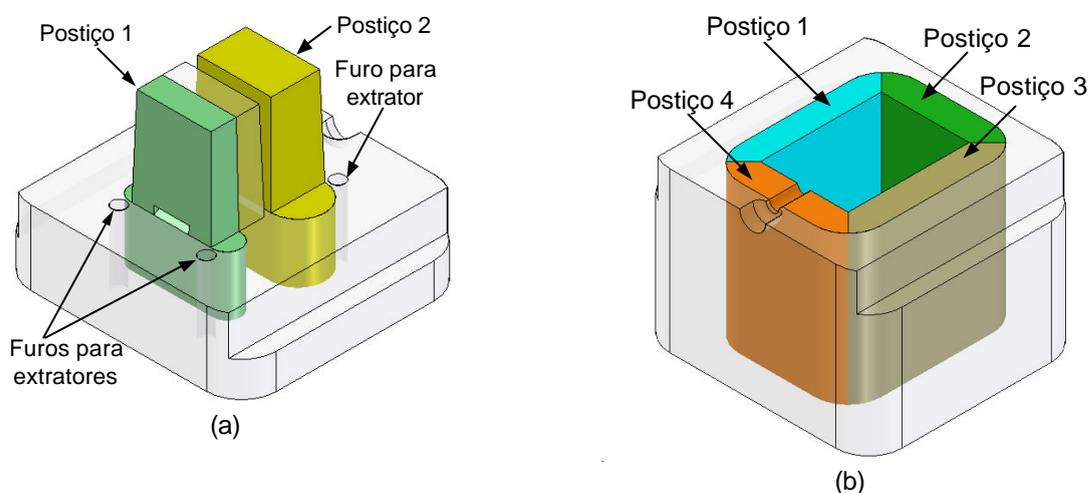


Figura 5.2 - Postiços criados para os insertos macho (a) e fêmea (b).

É possível verificar na Figura 5.2 (a) que os furos para os extratores ficaram posicionados ao redor dos postiços como forma de conferir se o postiço removível conseguiria ser extraído apenas pelo moldado (Figura 5.4).

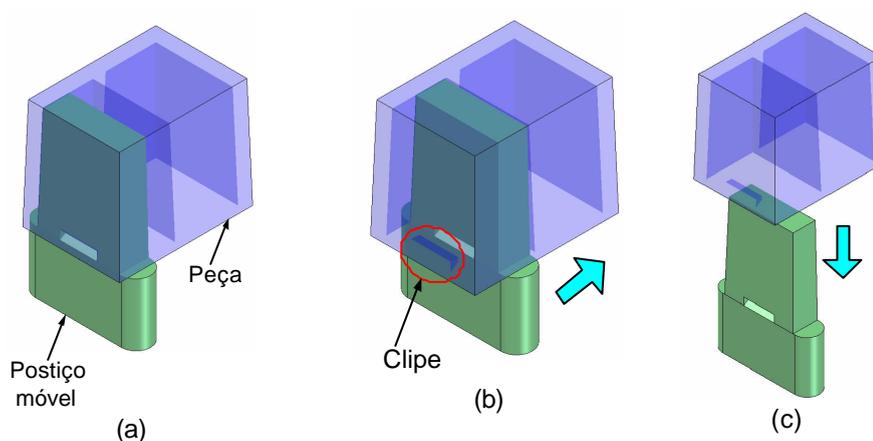


Figura 5.3 - Funcionamento do postiço removível na peça teste.

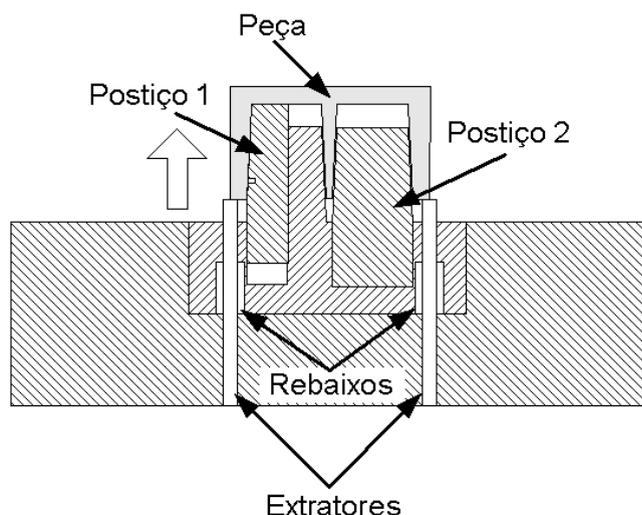


Figura 5.4 - Extração do postigo sem auxílio de extratores.

Seguindo a etapa 4 da Tabela 4.1, os alojamentos nos insertos macho e fêmea foram criados de acordo com os preceitos do Procedimento IV. Estes alojamentos podem ser vistos nas Figura 5.5 (a) e (b), respectivamente.

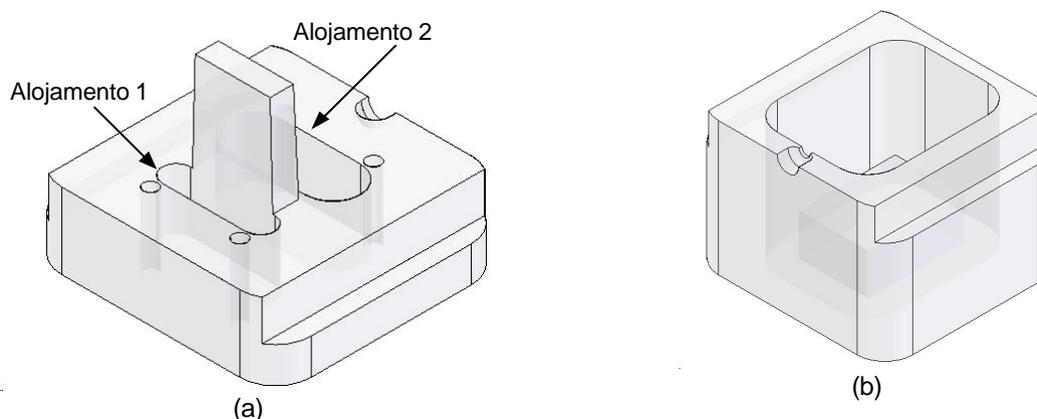


Figura 5.5 - Alojamentos criados nos insertos macho (a) e fêmea (b).

### 5.1.2 Etapa de Planejamento do Processo de Usinagem

Uma base para acomodar todos os postigos recortados foi gerada no CAD com dimensões de 104x64x7mm. Os postigos foram montados a uma distância de aproximadamente 13mm entre cada um que é o espaçamento originado do diâmetro da maior fresa a ser utilizada (fresa de 12mm), mais o sobre-material a ser deixado para o acabamento. Nesta montagem, o postigo removível que possui a cavidade

que formará o clipe na injeção, foi colocado próximo a uma das bordas da base para facilitar a sua fabricação (Figura 5.6).

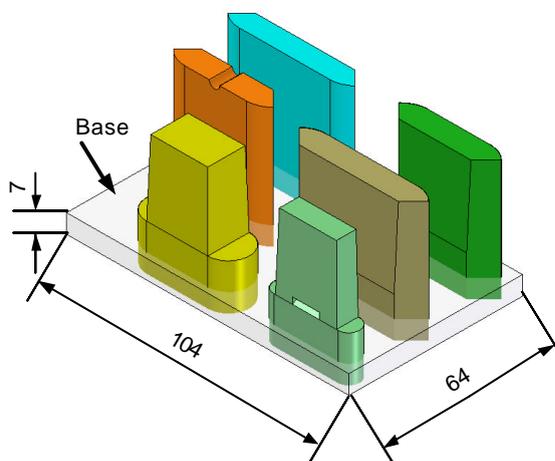


Figura 5.6 - Disposição dos postigos da peça 1 para a usinagem.

No caso do postigo removível, previu-se uma primeira fixação para a usinagem da cavidade que dá origem ao clipe, uma vez que esta se encontra em uma posição diferente das demais geometrias ( $90^\circ$  em relação a posição da ferramenta para usinagem da maioria dos postigos) (Figura 5.7 (a)).

Para a usinagem do restante da geometria é necessária uma nova fixação e um novo zero-peça. Para isto, na etapa de Fabricação, o bloco foi posicionado novamente de modo que as ferramentas de corte tivessem acesso a todas as geometrias (Figura 5.7 (b)). Apesar desta etapa adicional, esta é a única maneira de usinar este postigo completamente. As estratégias de usinagem (desbaste e acabamento) foram criadas para ambas as fixações e simuladas para verificar possíveis colisões entre as ferramentas e as geometrias. Nenhuma estratégia apresentou problemas, possibilitando a geração do programa CNC para o centro de usinagem que foi utilizado.

Para os insertos, também foram criadas estratégias de usinagem de desbaste e acabamento. Para ambos, foi prevista a fabricação a partir de blocos com dimensões de 60x65x50mm. Na Tabela 5.1 é possível verificar a seqüência de

fabricação desenvolvida para os postigos e os inserts durante esta etapa de planeamento de processo.

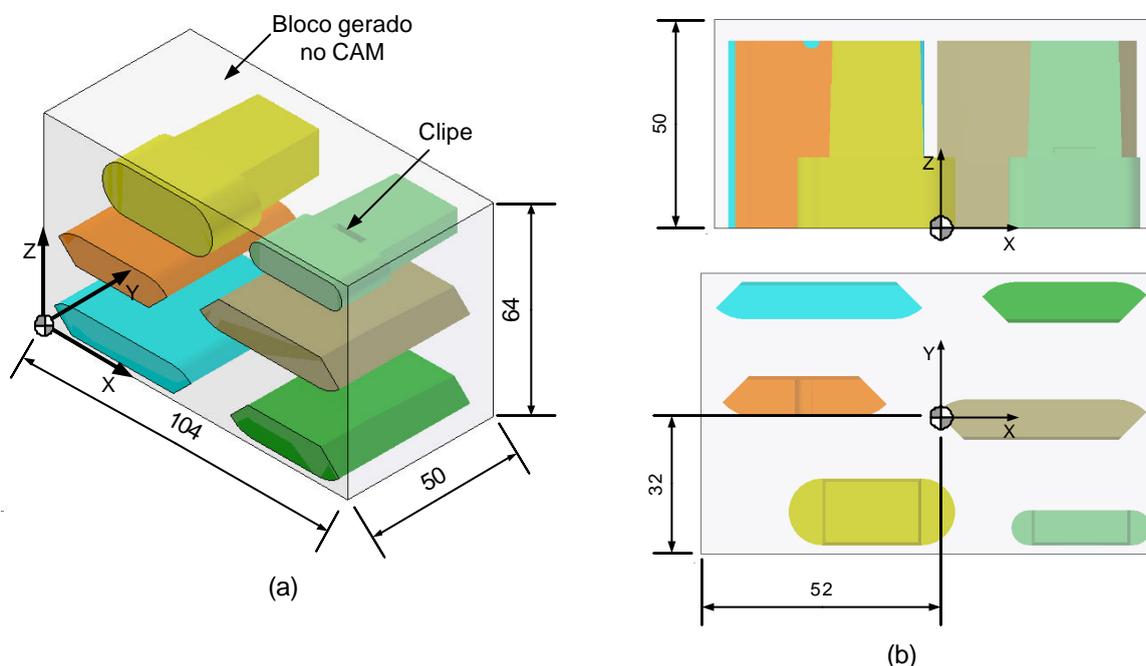


Figura 5.7 - Posicionamento para a primeira (a) e segunda usinagem (b) dos postigos da peça 1.

Tabela 5.1 - Seqüência definida para a fabricação dos inserts e dos postigos da peça 1.

Insertos	Postigos
1º.Corte dos blocos	1º.Corte do bloco
2º.Esquadrçamento dos blocos e usinagem dos raios e rebaixos	2º.Esquadrçamento do bloco
3º.Usinagem das geometrias e alojamentos	3º.Usinagem da região do clipe
4º.Alargamento dos furos de passagem dos extratores	4º.Usinagem das demais geometrias
-	5º.Separação dos postigos da base
-	6º.Ajustes e montagem dos postigos nos inserts

### 5.1.3 Etapa de Fabricação

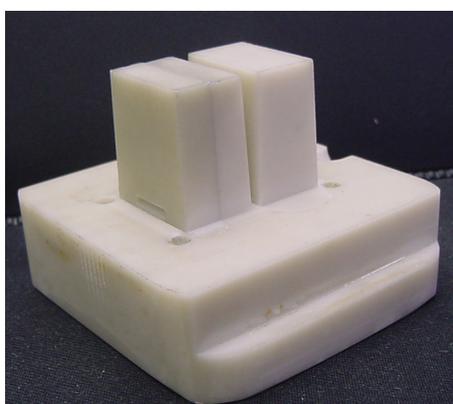
A usinagem dos postigos foi realizada em duas fixações, sendo a primeira para a usinagem da cavidade do clipe no postigo removível e a segunda para as demais geometrias. Após isto, os postigos foram separados da base utilizando uma serra-fita convencional. Terminado o recorte, todos os postigos foram lixados com o auxílio da

retífica manual Dremmel, inicialmente apenas nas regiões de ajuste (Figura 5.8). Todavia, como previsto no capítulo 3, foi necessário um ajuste mais preciso nas regiões de guia para que todos os postigos fossem montados em seus alojamentos. Estas regiões foram lixadas com uma lixa de granulação fina (lixa 600) fazendo-se tentativas de montagem até se obter os ajustes necessários.

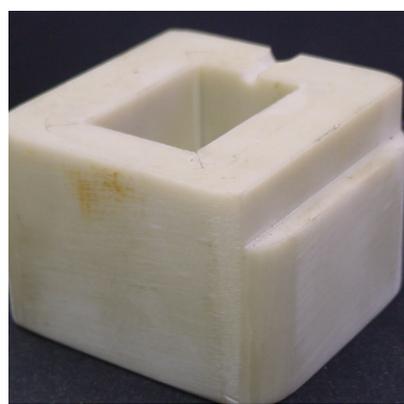


Figura 5.8 – Lixamento da região de ajuste para os postigos da peça 1.

Nestas tentativas foi verificado que para os postigos fixos uma dimensão de 0,02mm menor do que a dimensão do alojamento possibilitava um ajuste condizente com a função destes postigos. Para o postigo removível foi utilizada a mesma estratégia lixando e montando-o diversas vezes no alojamento até a obtenção do ajuste que se considerou adequado ao seu funcionamento. A dimensão verificada para isto foi de aproximadamente 0,05mm menor do que a dimensão do alojamento. Na Figura 5.9 (a) e (b) são mostrados os insertos macho e fêmea com os postigos no final da etapa de fabricação.



(a)



(b)

Figura 5.9 – Inseto macho (a) e Inseto fêmea (b) com os postigos.

Apesar de ter sido possível a realização das montagens, foram verificadas folgas entre alguns postigos do inserto fêmea e os alojamentos (Figura 5.10). Estas folgas ocorreram devido a uma retirada excessiva de material durante o ajuste dos postigos para serem montados no inserto. No caso do inserto macho, os dois postigos foram montados sem a ocorrência deste tipo de problema.

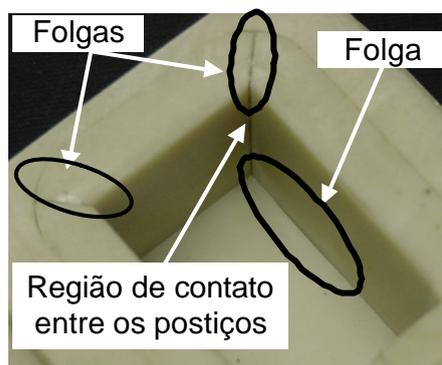


Figura 5.10 – Folgas entre os postigos do inserto fêmea.

#### 5.1.4 Etapa de Injeção

Os parâmetros regulados para a injeção dos protótipos são mostrados na Tabela 5.2. Para a regulação destes valores foi necessário injetar 22 peças.

Tabela 5.2 – Parâmetros utilizados na injeção dos protótipos da peça 1.

Parâmetros	Valor
Temperatura de injeção (°C)	180
Velocidade de injeção (m/s)	60
Pressão de injeção (bar)	100
Pressão de recalque (bar)	50
Tempo de recalque (s)	3

Com os parâmetros que foram regulados foi possível injetar os 100 protótipos previstos. Em todas as peças injetadas, o postigo removível pode ser extraído junto com o moldado e montado novamente em seu alojamento com o mesmo ajuste. Desta forma, não foi necessário o uso de extratores para empurrá-lo do alojamento, sendo extraído apenas pelo moldado (Figura 5.11). Contudo, alguns problemas puderam ser constatados nos protótipos injetados. Devido as folgas ocasionadas entre os postigos do inserto fêmea, ocorreram rebarbas no lado externo de todas as peças injetadas (Figura 5.12 (a)). Além disso, foi constatado também uma inclinação na parede que forma a nervura central (Figura 5.12 (b)).

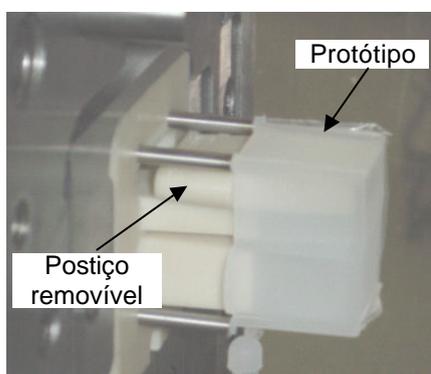


Figura 5.11 – Postigo removível sendo extraído junto com o protótipo.

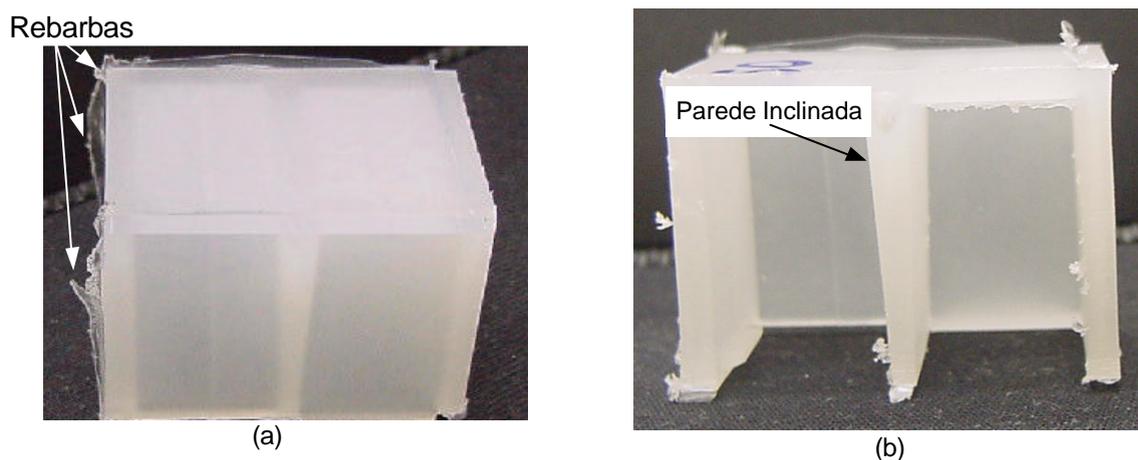


Figura 5.12 – Rebarbas (a) e inclinação da parede da nervura (b) nos protótipos da peça 1.

## 5.2 Estudo de Caso 2

### 5.2.1 Etapa de Projeto

Foi constatado que o inserto fêmea da peça 2 poderia ser totalmente usinado sem a necessidade do emprego de posições em sua geometria. Já no inserto macho, foi verificado que algumas regiões não poderiam ser diretamente fresadas e necessitariam de posições para a sua reprodução. Estas regiões podem ser vistas na Figura 5.13 que também indica o tipo de dificuldade.

O principal problema de fabricação no inserto macho é com relação aos dois cliques localizados no centro da sua geometria (problema do tipo B), que precisam ser formados por posições removíveis. Da mesma forma que na peça 1, existem cantos retos na região dos cliques que não podem ser fabricados por usinagem (problema do tipo D). Estes cantos também não foram reproduzidos devido ao tamanho dos posições que precisariam ser empregados.

Problemas com relação a sobras de material (problemas do tipo H), foram verificadas entre o contorno da geometria e a superfície de fechamento, e em algumas regiões da parte frontal do inserto. No entanto, observa-se que estas regiões também não apresentam características funcionais ao produto e que a sobra de material, a ser deixado pela ferramenta de corte, também não seria prejudicial ao inserto. Desse modo, optou-se por não criar posições para estas regiões problemáticas. Além disso, utilizando uma fresa de pequeno diâmetro é possível deixar muito pouco material nestas regiões que ainda assim podem ser retirados de forma manual durante a fase de ajuste do molde. As duas nervuras localizadas na região central apresentam o mesmo problema da peça teste, ou seja, uma relação altura (H) e largura (L) maior do que a de uma ferramenta de corte padrão (problema do tipo E). Neste caso, para solucionar esta dificuldade, foi necessário a criação de um posição que pudesse ser usinado por uma ferramenta com diâmetro maior.

Para os problemas de sobra de material (do tipo H), verificados na região frontal do inserto, foram projetados três posições (posições 1, 2 e 3). O recorte dos mesmos foi realizado traçando um perfil de maneira a tangenciar estas regiões conforme mostrado na Figura 5.14. Com relação às nervuras na parte central do inserto, os problemas do tipo E foram contornados gerando um único posição

(postição 4) que separou as regiões problemáticas em duas partes. Uma das regiões ficou no alojamento criado no inserto e a outra no próprio postição. Para os problemas dos cliques, projetou-se dois posições (posições 5 e 6), que também foram recortados de modo a dividir as regiões problemáticas em duas. Após serem recortados, os mesmos foram analisados quanto à possibilidade de fabricação, e constatado que todos poderiam ser usinados. Todos os posições criados para este inserto podem ser vistos na Figura 5.15 (a).

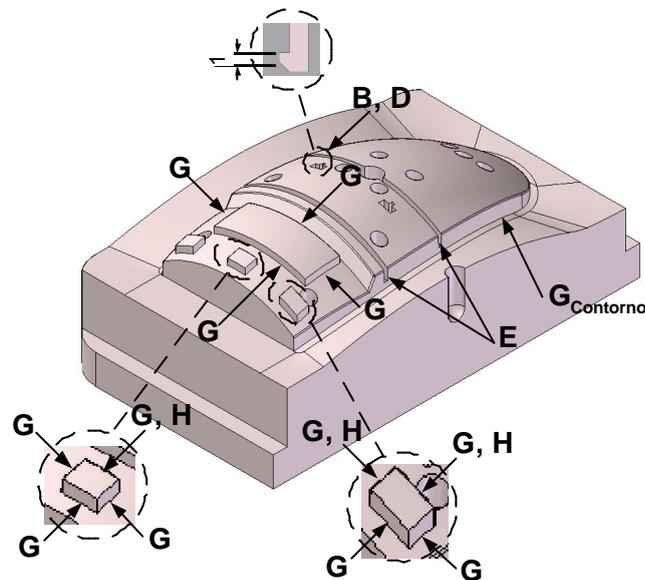


Figura 5.13 - Regiões problemáticas no inserto macho da peça *mouse*.

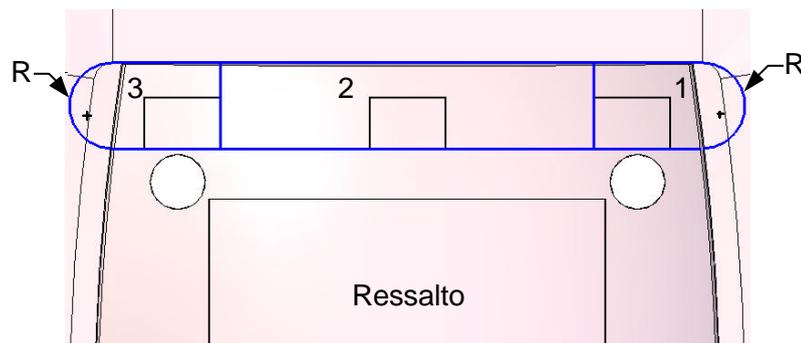


Figura 5.14 - Perfis para os recortes dos posições 1, 2 e 3.

Utilizando operações *booleanas* do Solidedge, foram criados os alojamentos no inserto macho com a inserção e subtração dos posições, de acordo com o

Procedimento IV (Apêndice A). Os alojamentos, apresentados na Figura 5.15 (b), se mostraram possíveis de serem usinados, possibilitando a montagem dos postigos no inserto para a verificação de falhas no recorte. Nenhuma sobra de geometria foi constatada indicando assim, que os recortes e a montagem dos postigos estavam corretas. Maiores detalhes sobre esta verificação podem ser vistos no Procedimento V (Apêndice A).

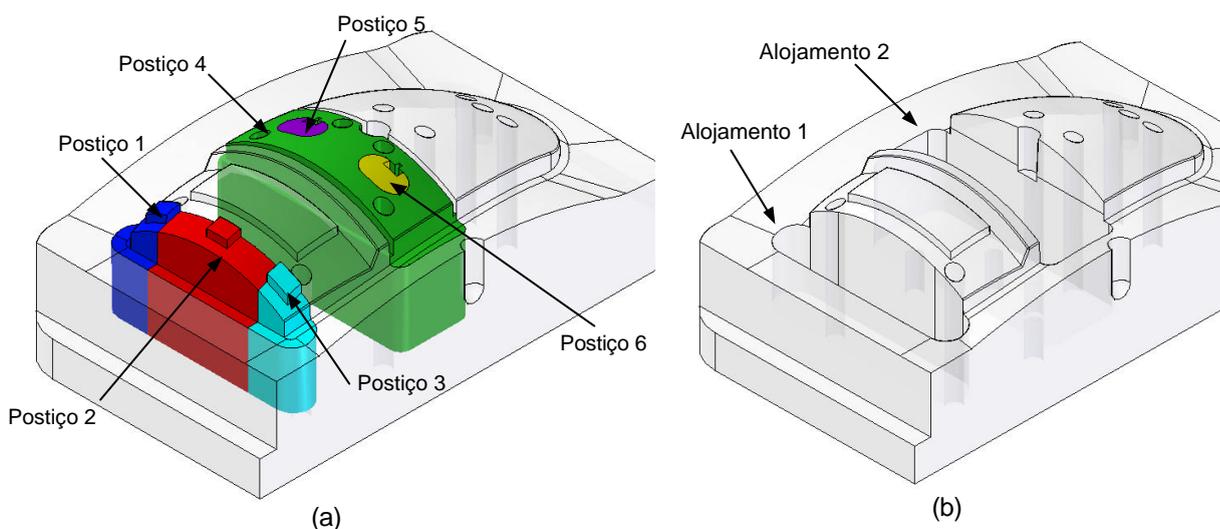


Figura 5.15 - Postigos (a) e alojamentos (b) criados para o inserto macho.

Assim como na peça 1, os postigos removíveis criados para esta peça (postigos 5 e 6) foram projetados para serem extraídos apenas pela geometria do moldado. Sendo assim, nenhum extrator foi posicionado abaixo destes postigos para empurrá-los durante a extração.

### 5.2.2 Etapa de Planejamento de Processo de Usinagem

A base modelada para que os postigos fossem fabricados a partir de um único bloco tem dimensões de 64x72x7mm. Os dois postigos que dão forma aos cliques foram dispostos próximos a uma das bordas da base para que os mesmos fossem usinados. A distância utilizada entre cada postigo foi de 13mm, possibilitando a usinagem com ferramentas de até 12mm de diâmetro (Figura 5.16). Assim como na peça 1, a fabricação dos postigos removíveis está condicionada a uma primeira

fixação para a usinagem das regiões dos cliques e uma segunda para a usinagem das demais geometrias. As Figura 5.17 (a) e (b) mostram as duas posições necessárias para a usinagem do conjunto de posições.

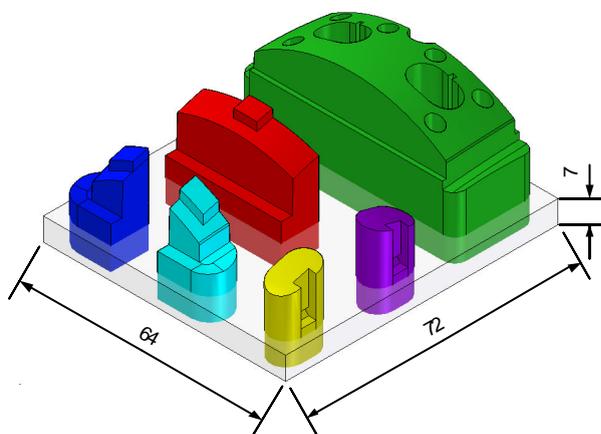


Figura 5.16 - Disposição dos posições da peça 2 para a usinagem.

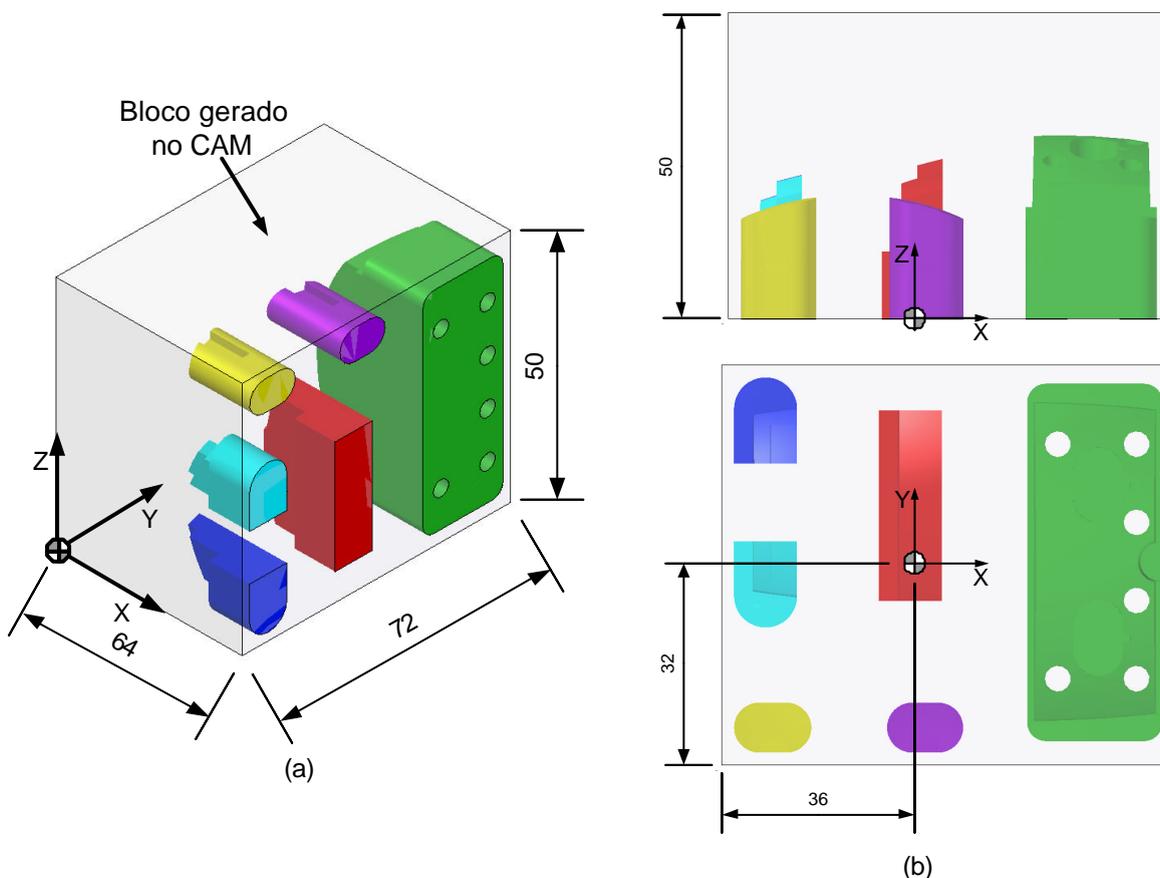


Figura 5.17 - Posicionamento para a primeira usinagem (a) e para a segunda (b) dos posições da peça 2.

Nos postigos 1, 2 e 3 (Figura 5.15) foram empregadas estratégias de usinagem de cantos para que os problemas do tipo G pudessem ser minimizados. Para isto, foi utilizada uma fresa de topo reta com 1mm de diâmetro para que fosse deixado a menor quantidade de material possível. Esta ferramenta também foi empregada para usinar os cantos do ressalto que está localizado logo atrás desses postigos no inserto (Figura 5.14). A fresa de 1mm de diâmetro também foi utilizada para usinar as regiões dos cliques nos postigos 5 e 6. A seqüência de fabricação definida para os insertos e postigos foi exatamente a mesma definida para a peça 1, mostrada na Tabela 5.1. Os insertos foram fabricados a partir de blocos esquadrejados com dimensões de 130x75x50mm.

### 5.2.3 Etapa de Fabricação

Após os postigos terem sido separados da base, estes foram acabados através de um lixamento que ocorreu primeiro nas regiões de ajuste, onde foi retirada a sobra de material deixado pelo recorte, e em seguida, nas regiões de guia. Nestas, os ajustes foram feitos de acordo com a função de cada postigo (fixos ou removíveis), utilizando para isto uma lixa com granulação fina (lixa 600). No caso dos postigos fixos, o ajuste se deu de modo que os mesmos fossem montados nos alojamentos com um ajuste interferente. Já para os postigos removíveis, as regiões guia foram lixadas até se verificar que o ajuste com o alojamento possibilitaria que os mesmos tivessem condições de serem extraídos junto com a peça injetada. Os valores empregados para estes ajustes foram os mesmos utilizados na peça 1, aproximadamente 0,02mm para os postigos fixos e aproximadamente 0,05mm para os postigos removíveis. Na Figura 5.18, são mostrados o inserto fêmea (a) e o inserto macho com os postigos (b) no final da etapa de fabricação.

Conforme descrito na etapa anterior, foi utilizada uma fresa de topo reta de 1mm de diâmetro para minimizar os problemas do tipo G nos postigos 1, 2 e 3 e no ressalto do inserto com os alojamentos. É possível verificar na Figura 5.19 que as sobras de material deixada pela ferramenta são praticamente imperceptíveis indicando que a usinagem foi realizada conforme esperado.



(a) (b)  
 Figura 5.18 - Inseto fêmea (a) e inseto macho com os postigos (b).

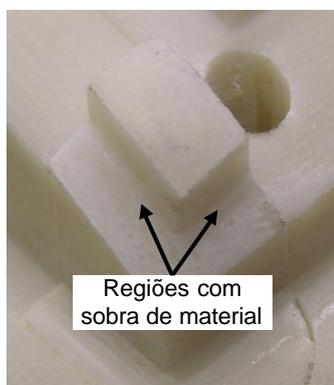


Figura 5.19 - Postigos com regiões do problemáticas do tipo I após a usinagem.

Assim como na peça 1, após a montagem dos postigos no inseto, foi possível verificar algumas folgas principalmente entre os postigos removíveis e seus alojamentos (Figura 5.20). As mesmas foram ocasionadas devido ao lixamento excessivo das regiões de ajuste destes postigos.

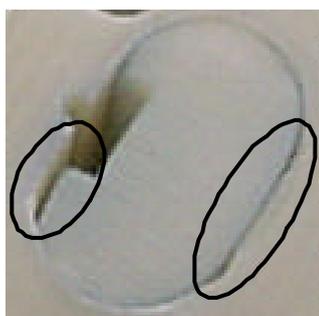


Figura 5.20 - Folgas verificadas entre os postigos removíveis e os alojamentos.

### 5.2.4 Etapa de Injeção

Os insertos foram montados nos alojamentos B do mesmo porta-molde utilizado no estudo de caso 1 (Figura 4.3) e os extratores foram ajustados conforme a geometria do inserto macho utilizando um rebolo e a retífica manual. Devido à forma complexa da superfície de separação dos dois insertos, o fechamento dos mesmos ocorreu dentro da placa onde estava alojado o inserto fêmea (Figura 5.21).

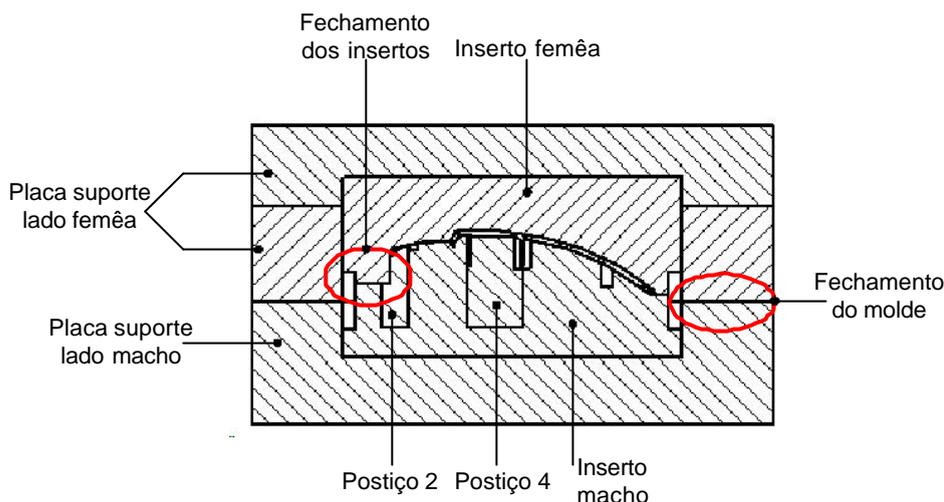


Figura 5.21 - Fechamento para os insertos da peça 2.

Os valores para os parâmetros de injeção foram obtidos com a injeção de 16 peças (Tabela 5.3) e após isto produzidos os 100 protótipos previstos (Figura 5.22 (a) e (b)). Em todas as peças injetadas, os postiços removíveis foram extraídos sem o auxílio de extratores e montados em seus alojamentos com o mesmo ajuste. Devido as folgas entre os postiços removíveis e seus alojamentos, todos os protótipos injetados tiveram rebarbas nas regiões dos cliques (Figura 5.23). Outro problema verificado foram as marcas deixadas pelos extratores que também são mostradas na Figura 5.23. Estas marcas foram causadas pelos extratores que não foram ajustados exatamente conforme a geometria do inserto. Neste caso, como foi utilizada uma retífica manual com rebolo para o ajuste, procurou-se esmerilhar as pontas dos extratores até próximo a superfície, como forma de evitar possíveis danos ao inserto. Além disso, após a retirada dos insertos do molde foi verificado uma trinca no canal de injeção do inserto macho (Figura 5.24).

Tabela 5.3 - Parâmetros utilizados na injeção dos protótipos da peça 2.

Parâmetros	Valor
Temperatura de injeção (°C)	180
Velocidade de injeção (m/s)	120
Pressão de injeção (bar)	140
Tempo de injeção (s)	1
Pressão de recalque (bar)	70
Tempo de recalque (s)	6



Figura 5.22 - Lado externo (a) e interno (b) de um dos protótipos injetados para a peça 2

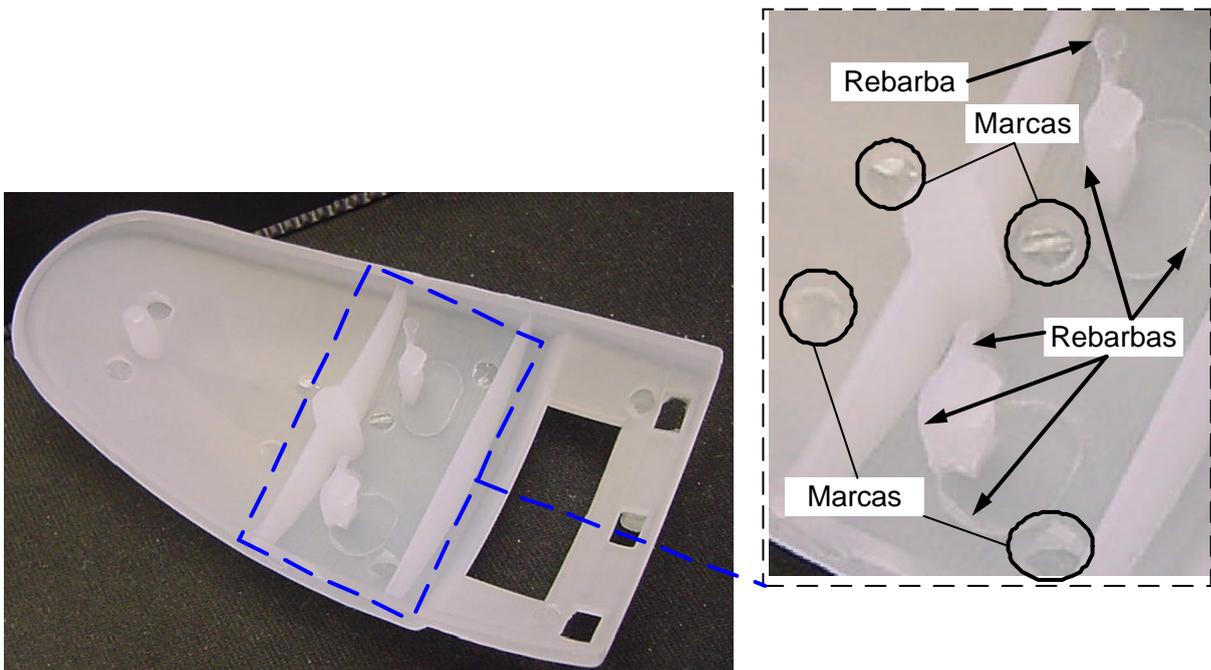


Figura 5.23 - Problemas verificados nos protótipos injetados.

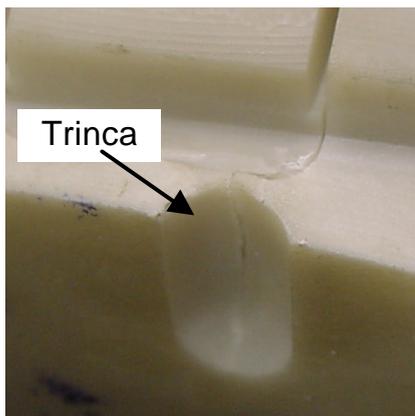


Figura 5.24 - Trinca no canal de injeção do inserto macho.

### 5.3 Estudo de Caso 3

A seguir são apresentados os resultados da etapa de Projeto dos postigos obtido pelos três colaboradores que participaram deste estudo de caso.

#### 5.3.1 Postigos Gerados pelo Colaborador 1

Após uma análise do inserto macho, o colaborador 1 definiu o formato de seis postigos para a reprodução das regiões problemáticas. Estes postigos são mostrados na Figura 5.25 (a) indicando as regiões em que os mesmos devem ser montados nos insertos. Na seqüência, os alojamentos para estes postigos foram criados utilizando as operações *booleanas* do Pro-engineer (Figura 5.25 (b)).

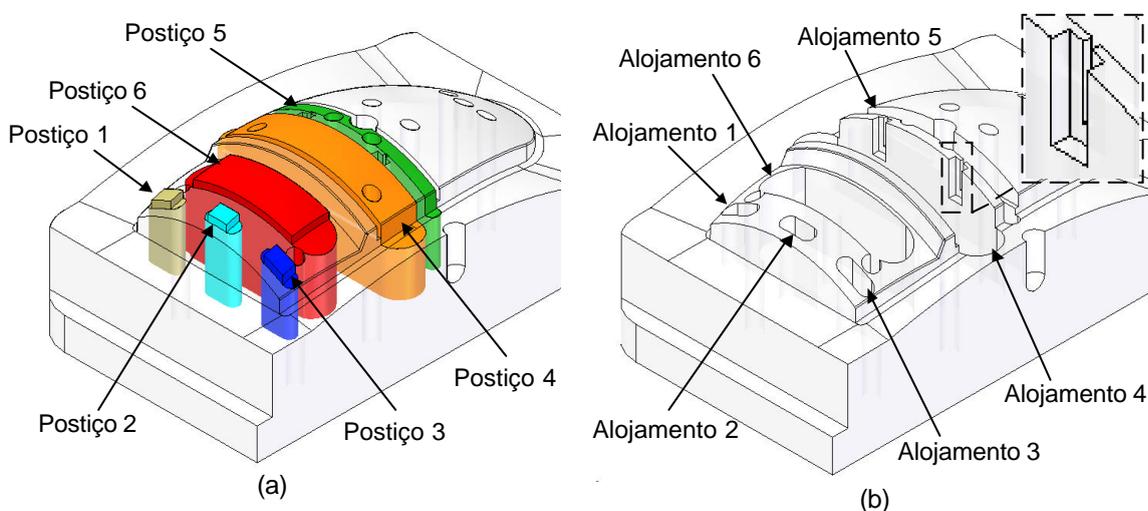


Figura 5.25 - Postigos (a) e alojamentos (b) definidos pelo colaborador 1.

Alguns problemas com relação a usinagem dos alojamentos e dos postigos foram possíveis de serem constatados. Na parte frontal do inserto foi verificado que as paredes dos furos dos extratores ficaram pouco espessas devido aos alojamentos dos postigos 1 e 3. Isto pode gerar inconvenientes como trincas ou quebra das mesmas devido ao movimento dos extratores. No alojamento 4 são verificados cantos retos que não podem ser usinados nas regiões que formam a parte de trás dos cliques (Figura 5.25 (b) – detalhe). Como mostrado na Figura 5.26, os postigos 1 e 3 terão sobras de material após a usinagem, devido aos problemas do tipo H que não foram contornados com os recortes criados. Além disso, a dimensão destes postigos (~4,5mm) poderá acarretar em danos aos mesmos durante a usinagem ou na etapa de ajustes para a montagem nos alojamentos.

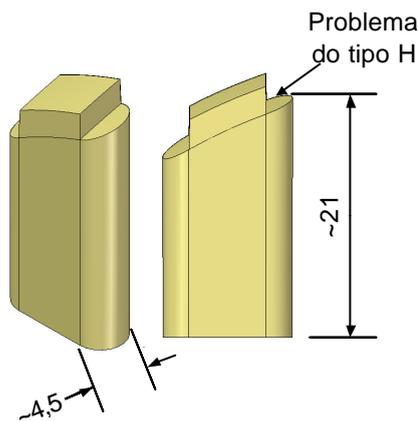


Figura 5.26 - Problemas verificados nos postigos 1 e 3.

### 5.3.2 Postigos Gerados pelo Colaborador 2

O segundo colaborador projetou nove postigos para as regiões problemáticas do inserto. Estes postigos são apresentados na Figura 5.27 (a) e os alojamentos na Figura 5.27 (b). Entre os nove postigos criados, quatro deles estão localizados na parte frontal do inserto (postigos 1, 2, 3 e 9) e possuem formatos muito parecidos aos postigos criados pelo colaborador 1. Deste modo, os mesmos problemas descritos anteriormente, com relação a sobra de material em algumas regiões, também aconteceram com estes. Como pode ser visto na Figura 5.27 (b) as paredes dos alojamentos dos postigos 1 e 3 também são pouco espessas podendo ocorrer o

mesmo problema descrito no item 5.3.1. Na região central foram criados dois postigos para cada um dos cliques conforme mostrado na Figura 5.27 (a). Estes postigos estão alojados em um outro maior (postigo 6) e somente os que formam as regiões negativas dos cliques (postigos frontais) precisam ser extraídos com a peça injetada. Os outros dois, que formam a parte de trás dos cliques (postigos traseiros), podem ser fixos nos alojamentos. A dimensão com que estes postigos foram recortados também é muito pequena o que dificulta a fabricação dos mesmos, principalmente na etapa de ajuste.

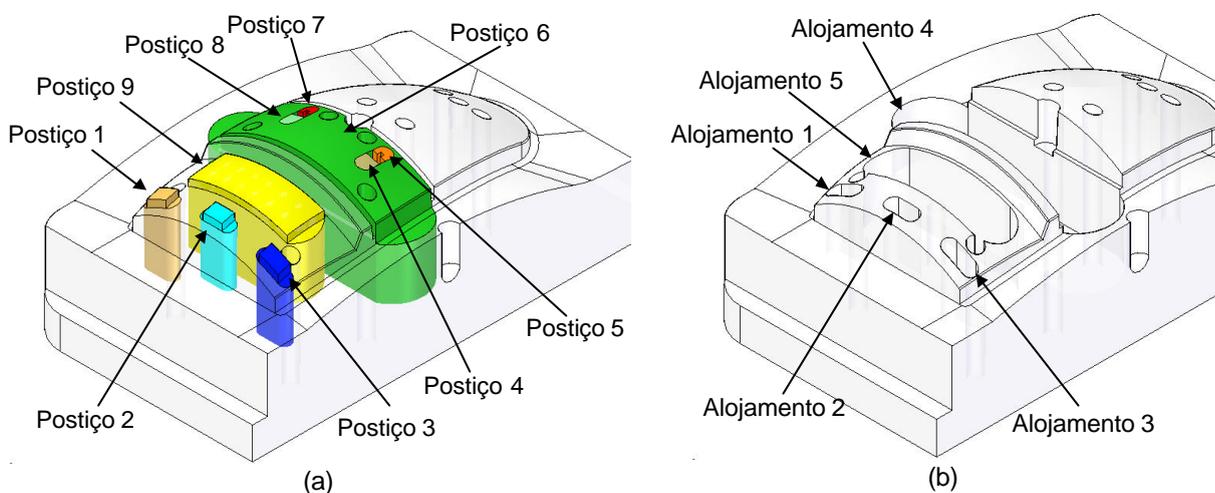


Figura 5.27 - Postigos definidos pelo colaborador 2 (a) e alojamentos criados (b).

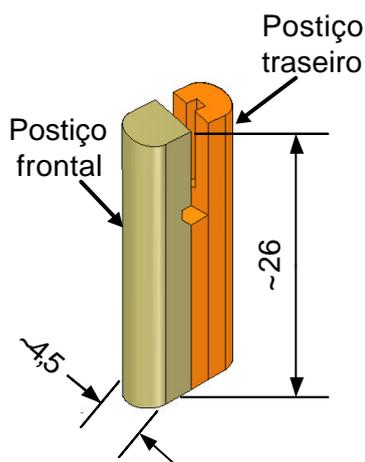


Figura 5.28 - Postigos criados para formar os cliques.

### 5.3.3 Postiços Gerados pelo Colaborador 3

Este colaborador criou a menor quantidade de postiços (quatro no total) para reproduzir a geometria do inserto (Figura 5.29). Neste caso, o usuário se preocupou apenas em reproduzir as nervuras e os dois cliques na região central. Para solucionar o problema dos cliques, o mesmo criou postiços semelhantes aos apresentados no estudo de caso 2. Quanto aos três ressaltos frontais o usuário resolveu não gerar postiço por achar que o material a ser deixado pela fresa seria de pouca relevância para o inserto.

Infelizmente, os alojamentos para a montagem dos postiços não foram possíveis de serem obtidos neste teste. Apesar dos postiços terem sido inseridos na geometria do inserto, no momento da subtração dos mesmos o aplicativo CAD utilizado (Solidworks versão 4.1) apresentou um problema e não conseguiu executar a função. Diversas tentativas foram feitas com a intenção de gerar os alojamentos. Mesmo assim, não foi possível obtê-los e o teste acabou sendo encerrado nesta fase.

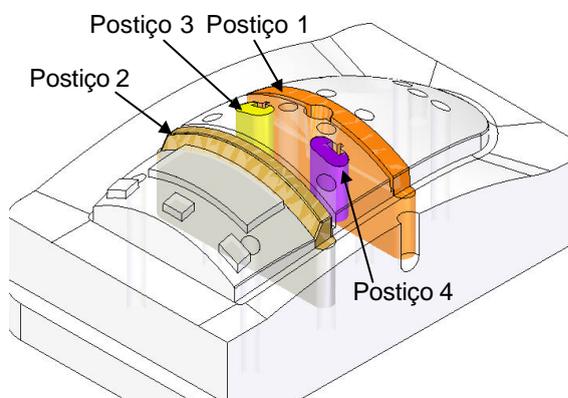


Figura 5.29 - Postiços definidos pelo colaborador 3.

### 5.4 Estudo de Caso 4

No inserto fêmea da peça 3, não foram encontradas regiões onde seria necessário o emprego de postiços. Desta forma, este inserto não foi analisado neste estudo de caso. Já para os demais, algumas dificuldades foram possíveis de serem verificadas. Para o inserto macho da peça 3 foram identificados problemas com

relação as nervuras (problema do tipo E) e de cantos retos (problema do tipo D) (Figura 5.30).

Devido à região negativa no inserto fêmea da peça 4 (problema do tipo C), foi verificado a existência de apenas uma região problemática (Figura 5.31). No inserto macho desta mesma peça, os problemas verificados foram de regiões negativas (problema do tipo A e do tipo B) e de cantos retos (problema do tipo D) (Figura 5.32 (a) e (b)).

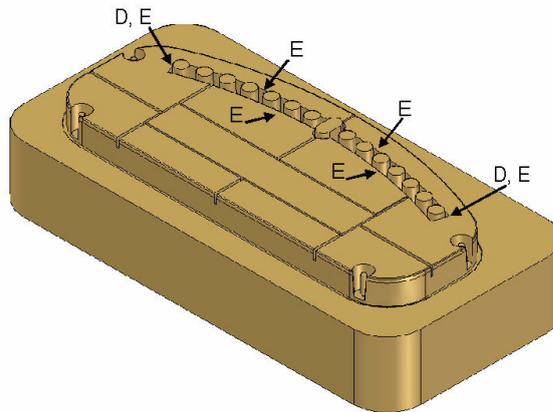


Figura 5.30 - Regiões problemáticas no inserto macho da peça 3.

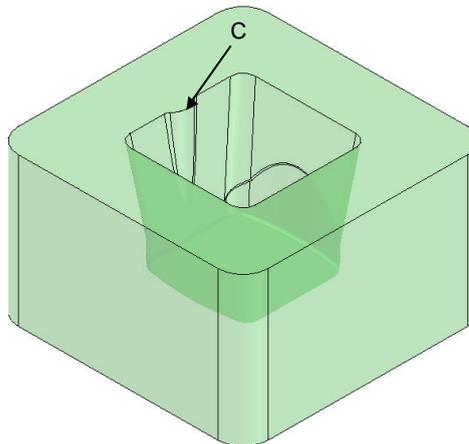


Figura 5.31 - Região problemática no inserto fêmea da peça 4.

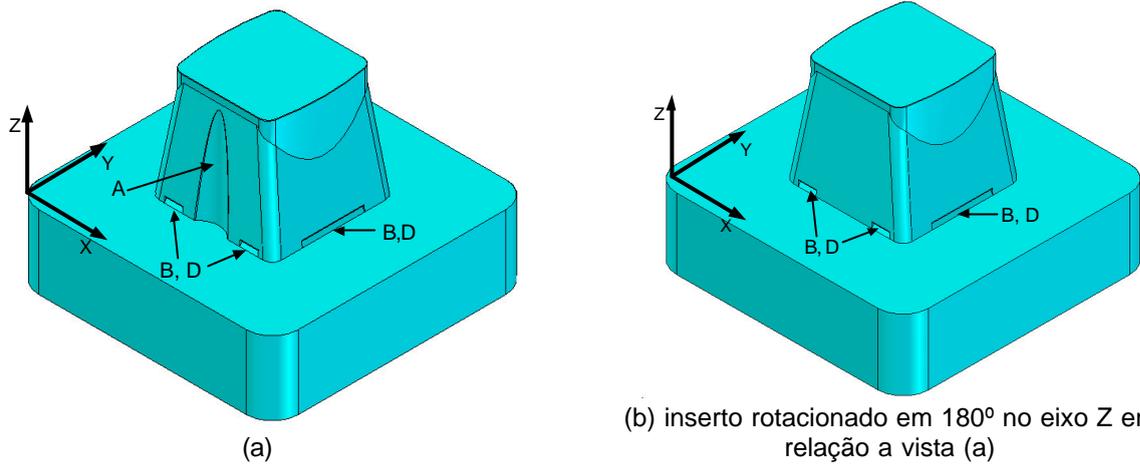


Figura 5.32 - Regiões problemáticas no inserto macho da peça 4, vista 1 (a) e vista 2 (b).

Para o inserto macho da peça 3 foram criados 12 posições fixos para os problemas identificados. Nas regiões contendo problemas do tipo E, os posições foram recortados dividindo estas regiões sempre em duas partes. Para os problemas do tipo D os posições foram criados de modo a proporcionarem a geração dos cantos retos quando montados nos alojamentos. Todos os posições deste inserto são mostrados na Figura 5.33 (a). Como praticamente toda a geometria do inserto precisou ser reproduzida com posições, foi gerado apenas um alojamento para a montagem de todos (Figura 5.33 (b)). Após a criação dos posições e do alojamento neste inserto, foi realizada a montagem das peças e verificado que todos os posições criados tinham condições de serem usinados a partir de um bloco único.

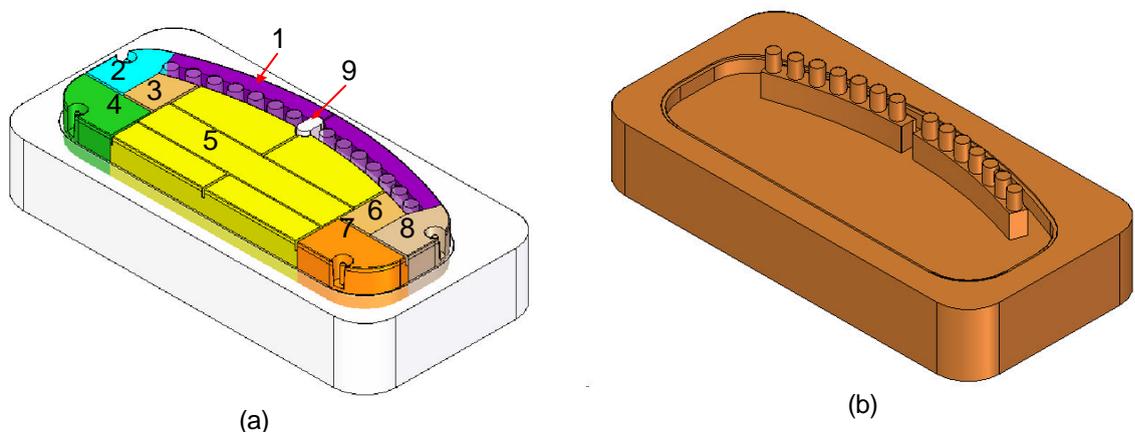


Figura 5.33 - Posições criados para o inserto macho da peça 3 (a) e o alojamento gerado (b).

No caso do inserto fêmea da peça 4, inicialmente foi planejado solucionar o problema da região negativa (problema do tipo C) utilizando apenas um postiço (Figura 5.34 (a)). Todavia, os raios de canto neste postiço só poderiam ser usinados se o mesmo fosse posicionado em pé no bloco. Como a sua altura é de aproximadamente 39mm, bem maior do que os demais que foram gerados, haveria um grande desperdício de tempo e material no processo de usinagem. Deste modo, optou-se por dividi-lo em dois postiços possibilitando que ambos fossem posicionados deitados na base (sobre o plano XY) gerando assim um bloco com uma altura menor (Figura 5.34 (b)). O postiço 2 deste inserto precisa ser removível pois a região negativa contida no mesmo impede a extração da peça injetada.

Apesar de terem sido identificados apenas dois tipos de problema no inserto macho da peça 4, foram necessários 17 postiços para a reprodução da sua geometria na solução apresentada (Figura 5.35 (a) e (b)). O projeto destes precisou ser realizado com uma atenção maior para que eles tivessem um formato adequado ao processo de usinagem. Devido ao problema do tipo A no postiço 1, a usinagem do mesmo só é possível com ele fixado na horizontal (deitado no plano XY). Todavia, caso ele seja montado nesta posição com os demais no bloco, a etapa de recorte e ajuste acabará sendo prejudicada. O problema neste caso é quanto à retirada irregular de material durante o lixamento da região de ajuste que poderá gerar uma folga entre este postiço e os outros que estarão ao seu redor.

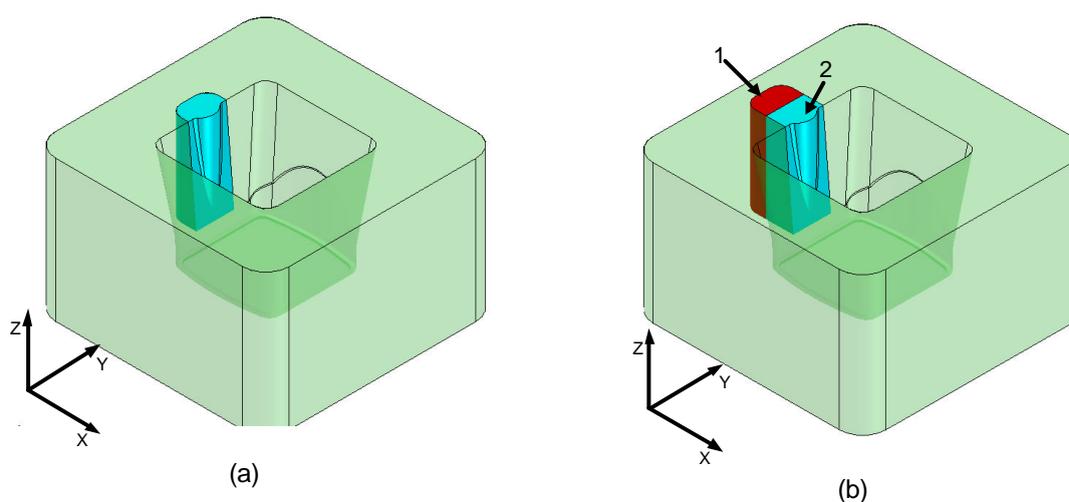


Figura 5.34 - Solução 1 (a) e solução 2 (b) para a geração de postiços para o inserto fêmea.

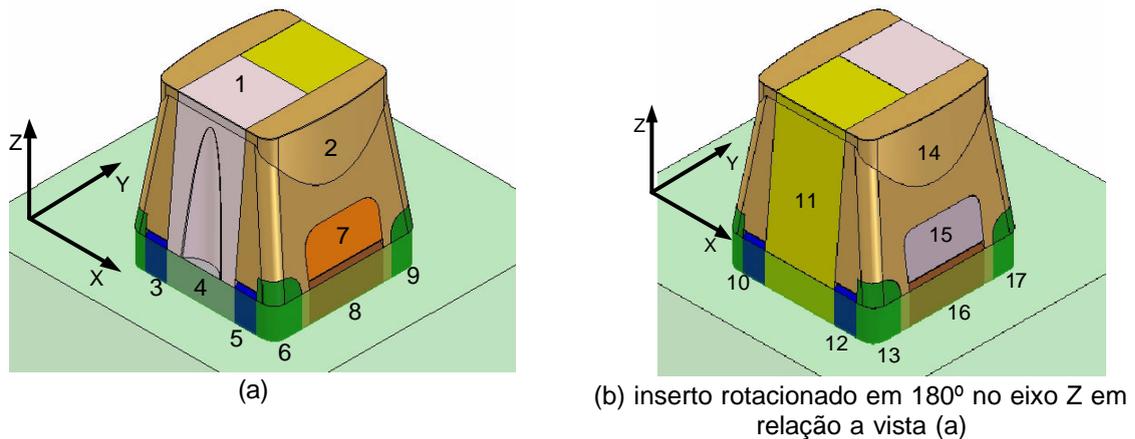


Figura 5.35 - Postiços gerados para o inserto macho da peça 4 (a) e (b).

Para o posição 11 do mesmo inserto, a usinagem só pode ser realizada com ele fixado na posição vertical junto com todos os outros. Porém, como a altura deste posição é praticamente o dobro dos demais, o mesmo problema citado para a primeira sugestão de posição do inserto fêmea ocorreria. Caso ele fosse fixado na horizontal, um problema igual ao verificado no posição 1 deste inserto também aconteceria. Os posições 2 e 14 também não podem ser usinados junto aos demais devido as suas formas geométricas e a espessura insuficiente para o bloco. Como estes posições não estão alojados no inserto e sim montados sobre os posições 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 13, 15, 16 e 17 (Figura 5.35 (a) e (b)), eles não possuem uma região de ajuste para ficarem inseridos no bloco como os demais. A posição ideal para que possam ser usinados todos os seus detalhes é na horizontal, ou seja, com eles deitados sob o plano XY. Todavia, se eles fossem montados desta forma a ferramenta não poderia usinar todas as regiões, pois parte delas estariam inseridas na base (Figura 5.36).

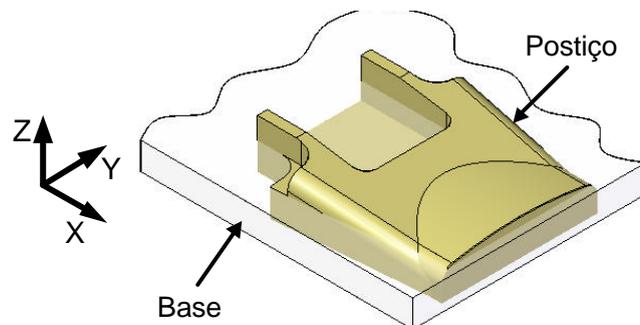


Figura 5.36 - Problema verificado com os posições 2 e 14 montados na base.

No caso das dificuldades de fabricação verificadas para os postigos 1, 2, 11 e 14 é sugerido um processo diferente. Primeiramente os blocos precisariam ser preparados com um perfil em “T” para serem fixados na morsa pela base inferior e usinadas as geometrias das peças na base superior. Em seguida, os postigos seriam separados e a base inferior lixada sem prejudicar as peças (Figura 5.37 (a) e (b)).

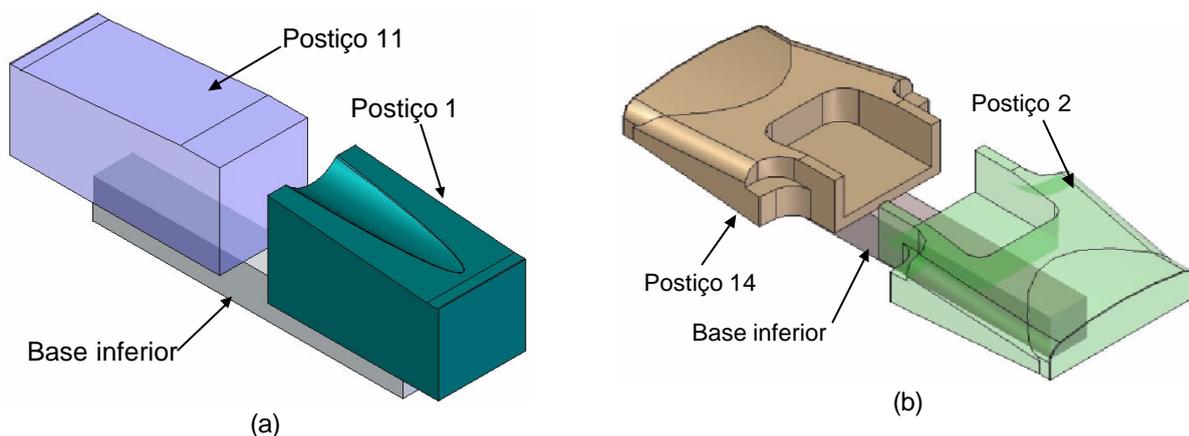


Figura 5.37 - Opção criada para a usinagem dos postigos 1 e 11 (a) e 2 e 14 (b).

Conforme mostrado na Figura 5.38, devido a região negativa no postigo 1 e aos cliques que estão posicionados ao redor do inserto macho, praticamente todos os postigos precisam ser extraídos junto com os protótipos injetados. Este é um problema que deverá acarretar em erros geométricos nos protótipos injetados e dificuldades na montagem dos postigos a cada novo ciclo de injeção.

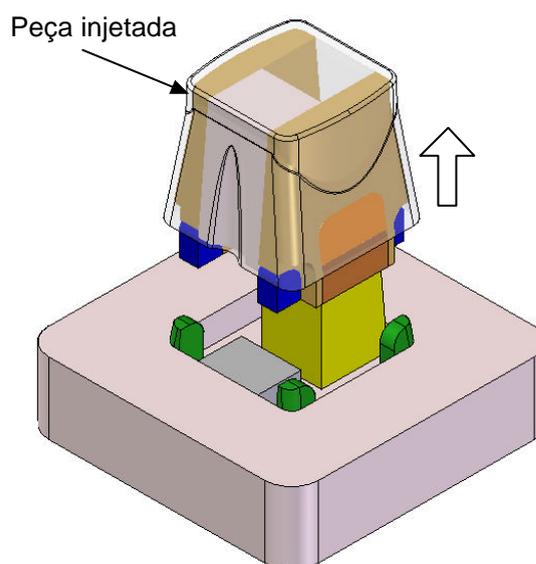


Figura 5.38 - Postigos do inserto macho da peça 4 extraídos junto com o moldado.

## 6 DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

Neste capítulo são discutidos os resultados mostrados no capítulo anterior, bem como alguns detalhes gerais sobre o projeto e a fabricação de insertos utilizando postigos. As conclusões sobre o trabalho também são apresentadas, principalmente acerca da viabilidade do emprego da sistemática proposta. No final do capítulo, são feitas algumas sugestões para novos estudos que poderão ser realizados com o intuito de contribuir com informações adicionais acerca do emprego do Ferramental Rápido Usinado.

### 6.1 Discussões

#### 6.1.1 Estudo de Caso 1

A quantidade e o formato de postigos criados para a peça 1 possibilitou a reprodução daquelas regiões consideradas problemáticas nos insertos macho e fêmea. Todavia, não é possível afirmar se as soluções adotadas foram as melhores para as regiões verificadas. Como já descrito anteriormente, dependendo do usuário, outras idéias poderiam ser criadas para solucionar os mesmos problemas de geometria. Apesar dos cantos retos situados na região do clipe não terem sido reproduzidos, o arredondamento deixado pela fresa de 1mm não prejudicou a funcionalidade do mesmo.

O posicionamento dos postigos no bloco para a usinagem propiciou a fabricação de todos, principalmente do postigo removível que necessitava de uma etapa a mais para ser completamente fresado. Mesmo assim, é verificado que no Procedimento VI (Apêndice A) não existe uma indicação de como realizar o posicionamento dos postigos no bloco. É importante lembrar que a disposição dos postigos terá influência direta no tempo de fabricação e conseqüentemente no custo final do molde-protótipo. Como a intenção é obter insertos de maneira rápida, e de preferência a um custo mais baixo, é interessante que a fabricação dos postigos possa ser feita a partir do menor bloco possível. Para que isto aconteça, sugere-se que seja inserido na etapa de Processo um “mecanismo” que questione o usuário se a posição e a distância escolhidas para os postigos são as mais adequadas com

relação ao tamanho do bloco. Este “mecanismo” deverá levar em consideração também as ferramentas disponíveis para a usinagem, uma vez que o diâmetro das mesmas interfere diretamente na distância e no posicionamento de um postigo em relação ao outro.

Na etapa de Fabricação os principais problemas encontrados foram na fase de ajuste das dimensões da região guia dos postigos. Apesar disto, os valores empregados para estas regiões (0,02 para os postigos fixos e 0,05 para o postigo removível) possibilitaram que os postigos fixos não se movessem durante a injeção e o postigo removível fosse extraído junto com os protótipos, sem a necessidade de extratores para empurrá-lo. Estes resultados são animadores e indicam que os ajustes utilizados estão próximos de um valor ideal tanto para os postigos fixos como para os removíveis. Mesmo assim, é de fundamental importância que estudos mais aprofundados acerca da melhor tolerância dimensional para os ajustes sejam realizados.

Com relação ao lixamento excessivo da região guia de alguns postigos é possível dizer que este problema está ligado a etapa de Projeto que é a responsável por gerar postigos que necessitam deste lixamento. Foi verificado que uma modificação nesta etapa poderia acarretar em dificuldades de aplicação da mesma, principalmente durante o recorte do formato dos postigos. Todavia, acredita-se que seja possível resolver este problema fazendo uma alteração durante a criação das estratégias de usinagem na etapa de Planejamento do Processo. Em alguns aplicativos CAM (*Computer Aided Manufacturing*), entre eles o próprio Powermill, é possível definir um sobre material negativo à geometria que será usinada, fazendo com que a mesma fique com uma dimensão menor do que a original. Este artifício é empregado na fabricação de eletrodos para o processo de eletroerosão o que garante a existência da folga necessária entre o eletrodo e a cavidade ou furo a ser usinado (DEGARMO *et al.*, 2003). Utilizando esta idéia, acredita-se que seja possível usinar a região guia de um postigo na dimensão correta para o encaixe no alojamento, levando em consideração a melhor tolerância de ajuste. Deste modo, a fase de lixamento manual desta região seria eliminada e os postigos poderiam ser montados nos alojamentos com o ajuste mais adequado. Para que isto ocorra, se faz necessário um estudo para a identificação do valor deste sobre-material negativo,

levando em consideração o material usinado, a ferramenta de corte, a geometria dos postigos e outras variáveis.

As rebarbas geradas pelas folgas de montagem dos postigos no inserto fêmea não atrapalharam a extração dos protótipos. Apesar das mesmas serem um problema que deve ser evitado, é preciso levar em consideração que as peças a serem injetadas são protótipos e que em uma etapa posterior a injeção poderão ser rebarbadas de forma manual. Mesmo assim, acredita-se que a possibilidade da ocorrência de rebarbas poderá ser eliminada caso a idéia de usinar os postigos com a dimensão correta para os ajustes seja possível de ser implementada.

Com relação a inclinação da nervura, o problema pode estar relacionado com a deformação desta região. Provavelmente, durante o preenchimento da cavidade, a parede que fica ao lado do postigo removível não suportou a pressão de injeção e acabou fletindo. Esta é apenas uma suposição que precisa de uma análise mais aprofundada para que se possa ter uma conclusão acerca da mesma.

### 6.1.2 Estudo de Caso 2

Algumas regiões problemáticas no inserto macho do *mouse* não foram reproduzidas com postigos por achar que as mesmas não influenciariam na funcionalidade dos protótipos. Este fato indica que, assim como na peça 1, resta peça também houve a necessidade de se avaliar quais as regiões que realmente precisariam ser reproduzidas por completo. Neste caso, a não utilização de postigos para algumas regiões facilitou a fabricação do inserto diminuindo conseqüentemente o seu tempo de obtenção.

O emprego de estratégias de usinagem de canto, juntamente com uma fresa de pequeno diâmetros (fresa de 1mm), possibilitou minimizar de forma significativa os problemas do tipo H dos postigos 1, 2 e 3. Com isto, não houve a necessidade de um ajuste manual mais cuidadoso para que se tentasse reproduzir as geometrias daquelas regiões. Esta é uma questão que se deve considerar na escolha do sistema CAM (*Computer Aided Manufacturing*) a ser utilizado na criação das estratégias de usinagem para os postigos e insertos. Nem todos os aplicativos possuem estratégias como esta, o que implicará em um ajuste das regiões que não

foram possíveis de serem usinadas, acarretando em um tempo maior na obtenção dos postigos e do molde final.

Com relação as rebarbas verificadas nos protótipos injetados, é possível informar que as mesmas foram ocasionadas pelo mesmo problema citado na peça 1 (lixamento excessivo de alguns postigos). Acredita-se, no entanto, que estas rebarbas também poderiam ter sido evitadas caso os postigos fossem montados em seus alojamentos sem a necessidade de um ajuste manual após a usinagem. Mesmo assim, os postigos 5 e 6 que eram removíveis foram extraídos junto com os protótipos em todos os ciclos de injeção.

As marcas deixadas pelos extratores nos protótipos injetados foram ocasionadas pela dificuldade em ajustá-los de acordo com a geometria do inserto macho. Esta é uma questão que deve ser levada em consideração, pois dependendo do funcionamento dos protótipos estas marcas podem ser prejudiciais aos mesmos. Uma maior experiência do operador e/ou um maior tempo na fase de ajustagem dos insertos no molde, podem minimizar estes detalhes. Adicionalmente, novos estudos estão sendo discutidos para tentar evitar a utilização de extratores o que deverá solucionar este tipo de problema além de agilizar a obtenção dos protótipos.

A trinca verificada no canal de injeção do inserto macho, deve ter ocorrido devido a parede pouco espessa formada pelo alojamento do postigo 4. Neste caso, provavelmente durante a injeção dos protótipos, esta parede não suportou a pressão de injeção e rompeu gerando a trinca. Todavia, a espessura desta trinca não foi suficiente para a entrada de material polimérico, uma vez que não foram observadas rebarbas no canal de injeção dos protótipos. Este problema poderia ter sido evitado caso tivesse sido empregado uma parede mais espessa nesta região. Recomenda-se neste caso, um maior cuidado no sentido de projetar os detalhes nos insertos para que os mesmos não sejam fragilizados.

### **6.1.3 Estudo de Caso 3**

A tabela utilizada para a verificação das regiões problemáticas (Tabela 3.1) e a tabela com sugestões de postigos para solucionar estas regiões (Tabela 3.2) se

apresentaram eficientes para os estudos de caso 1, 2 e 4. Apenas no estudo de caso 3, onde estas tabelas foram empregadas por outras pessoas, foi possível observar a dificuldade dos usuários em utilizar as informações contidas nas mesmas. Como pôde ser visto nos resultados obtidos neste estudo de caso, os colaboradores 1 e 2 criaram posições que não contornam o problema de sobra de material (problema do tipo H) contidos na parte frontal do inserto avaliado. Além disso, as dimensões com que estes posições foram projetados, mostradas na Figura 5.26, provavelmente dificultariam a fabricação dos mesmos, principalmente na fase de ajuste. Já o colaborador 3 não identificou como problemática esta região, não projetando assim posições para resolver as suas dificuldades. Estes dois fatos indicam que apesar das tabelas conterem uma boa quantidade de exemplos de regiões que não podem ser usinadas e sugestões de posições para elas, ainda se faz necessário um treinamento mais elaborado para explicação das mesmas.

Sobre os recortes e a geração dos alojamentos, é possível colocar que todos os usuários entenderam os procedimentos que foram apresentados, mesmo no caso do colaborador 3, que não conseguiu criar os alojamentos devido a um problema do aplicativo utilizado.

#### **6.1.4 Estudo de Caso 4**

As geometrias escolhidas para o estudo de caso 4 possibilitaram verificar que algumas peças devem exigir uma quantidade bastante elevada de posições para a reprodução dos seus insertos. O problema neste caso está relacionado a fixação dos posições no inserto, à fabricação dos mesmos, e também na dificuldade da injeção dos protótipos em um molde formado por várias peças. Como pôde ser visto neste estudo de caso, mais especificamente na peça 4, a usinagem de alguns posições a partir de um bloco único nem sempre será possível de ser executada. Deste modo, acredita-se que algumas modificações na etapa de Planejamento do Processo precisem ser realizadas como apresentado anteriormente. Além disso, é necessário um processo de fabricação mais cuidadoso para um inserto, como exemplificado pela peça 4, principalmente nas fases de montagem e ajustes dos posições.

Com relação à injeção dos protótipos desta geometria é possível prever que os postigos criados dificilmente permaneceriam imóveis durante o preenchimento da cavidade. Neste caso, seria necessária uma melhor análise da etapa de Projeto para que fossem criados postigos com algum sistema de travamento entre eles. Este sistema funcionaria para manter os postigos em suas posições durante a injeção e extração dos protótipos. Outra questão que se pode levantar é quanto à montagem dos mesmos em seus alojamentos após a extração. Neste caso, o operador da injetora precisaria ter um cuidado redobrado para colocar os postigos nos alojamentos corretos após a sua extração com o moldado. Para que isto seja feito de forma adequada, é interessante a criação de um sistema *poka-yoke* que impeça o operador de fazer a montagem de forma equivocada.

## 6.2 Conclusões

O objetivo principal proposto para este trabalho, criar uma sistemática para o projeto e a fabricação de moldes-protótipo com o auxílio de postigos, pode ser atingido. Contatou-se também que é possível a criação de postigos fixos e removíveis que sejam inteiramente obtidos pelo processo de fresamento. Os postigos removíveis têm condições de serem extraídos com o moldado evitando assim o uso de gavetas no molde. Esta característica é importante, pois simplifica em muito a fabricação de um molde-protótipo. Nos estudos realizados não foi necessária a utilização de extratores para empurrar estes postigos e a grande maioria dos detalhes foi possível de serem reproduzidos. Todavia, melhoramentos ainda deverão ser realizados e testes mais elaborados precisam ser empregados, para garantir que as principais partes da geometria dos insertos possam realmente ser reproduzida desta forma.

No capítulo 3, a sistemática proposta foi apresentada na forma de um fluxograma sendo dividida em quatro etapas. Esta divisão foi escolhida como forma de explicar a idéia de maneira didática ao longo do trabalho. Todavia, verifica-se que as etapas estão interligadas e que são dependentes umas das outras. Desde o início da verificação das regiões problemáticas nos insertos até a injeção dos protótipos, os postigos precisam ser projetados levando em consideração cada uma das quatro

etapas. Deste modo, é possível concluir que a utilização da sistemática por uma única pessoa irá demandar um conhecimento acerca das áreas de projeto, processo, fabricação e injeção para que os protótipos possam ser obtidos de maneira satisfatória.

No início de aplicação da sistemática, foi possível constatar a necessidade de uma análise detalhada das geometrias dos insertos para a definição de quais regiões problemáticas deveriam e poderiam ser contornadas por postigos. Neste caso, detalhes muito pequenos como os cantos retos verificados nos cliques das peças 1 e 2, mostraram que algumas regiões não justificam ser reproduzidas. Mesmo assim, caso alguma destas precise realmente ser obtida, é possível prever uma etapa de ajustagem manual para a sua fabricação. A utilização de resinas poliméricas, como a que foi empregada neste trabalho, possibilita uma fácil remoção de material mesmo que seja utilizando uma lixa. Este ajuste, porém, deverá ser realizado com esmero para que a geometria do inserto não seja prejudicada, acarretando em problemas maiores.

Apesar da sistemática ter sido testada utilizando como matéria-prima uma resina polimérica, não somente este material pode ser empregado. Materiais metálicos de fácil usinabilidade, como o alumínio, podem ser opções interessantes na fabricação de moldes-protótipo utilizando os passos apresentados. O fato de não necessitar da utilização de um processo relativamente demorado como a eletroerosão, pode ser considerado um grande atrativo na fabricação de um molde.

O emprego do método *Short Shot* possibilitou que a injetora fosse regulada com parâmetros que permitiu a injeção de todos os protótipos. No entanto, não é possível informar se estes valores são realmente os mais indicados para cada uma das geometrias que foram injetadas. Para isto, seria necessário um estudo mais aprofundado acerca do processo de injeção o que não fez parte do escopo deste trabalho.

Adicionalmente, este trabalho possibilitou gerar algumas informações a mais acerca do projeto e da fabricação de moldes-protótipo utilizando tecnologias difundidas como CAD/CAM/CNC. Esta contribuição é importante uma vez que estas informações não são encontradas com facilidade na literatura dedicada a área de RT.

### 6.3 Sugestões para Trabalhos Futuros

A seguir são apresentadas algumas sugestões para trabalhos futuros que se julgam importantes para a continuidade desta pesquisa:

- a) Realizar um estudo visando a identificação dos limites de complexidade e do número de posições para verificar a viabilidade da sistemática;
- b) Analisar o emprego de outros materiais (resinas e também materiais metálicos) na fabricação de insertos e posições;
- c) Verificar a viabilidade de se extrair os protótipos injetados sem o emprego de sistemas extratores no molde;
- d) Testar os procedimentos criados com o auxílio de outros colaboradores e sistemas CAD/CAM diferentes.

## PRODUÇÃO CIENTÍFICA NO PERÍODO (Março 2004 – Março 2006)

AMORIM, J.R.,DERENIEVICKI FILHO, O. VOLPATO, N. Um estudo sobre o emprego de protótipos no desenvolvimento de produtos. **Ferramental Revista Brasileira da Indústria de Ferramentais**, Joinville-SC, nº 5, p. 37-44, 2006.

AMORIM, J. R., VOLPATO, N. Um estudo visando ampliar o campo de aplicação do ferramental rápido usinado. In: **III Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação, 2005**, Joinville-SC. Anais do III COBEF, 2005.

RAZERA, L. R. P., VOLPATO, N., AMORIM, J. R. Análise de uma metodologia para o projeto de posições em ferramental rápido usinado. In: X Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica do CEFET-PR, 2005, Curitiba. **Anais do X Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica, CEFET-PR**. Curitiba-PR, v. 1. p. 169-172, 2005.

VOLPATO, N., AMORIM, J.R. Uma análise do desempenho de resinas termofixas usadas como insertos para ferramental rápido. **Revista Plástico Industrial**, nº 77, p. 88-107, 2005.

VOLPATO, N., AMORIM, J.R. Limitações do processo de usinagem CNC para ferramental rápido. **Anais do III Congresso Nacional de Engenharia Mecânica – CONEM**, Belém-PA, v. 1, p. 1-10, 2004.

FARIAS, F.M.N., VOLPATO, N., AMORIM, J.R. Proposta para obtenção de detalhes em ferramental rápido usinado. **Anais do IX Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica, CEFET-PR**. Curitiba-PR, v. 1, p. 78-81, 2004.

RICHTER, E.O., VOLPATO, N., AMORIM, J.R. Ferramental rápido usinado, **Anais da 11ª Jornada Nacional de Iniciação Científica – JNIC**, UFMT, Cuiabá-MT, 2004 (pôster).

## REFERÊNCIAS

AHRENS, C. H., FERREIRA, A. C., SALMORIA, G., VOLPATO, N., LAFRATTA, F. H., FOGGIATTO, J. A. Estudo da estrutura em propriedades de peças de PP moldados por injeção em ferramentas de prototipagem. In: CBCIMAT 2002. **Anais do Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais**. Natal - Rio Grande do Norte Novembro. 2002, em CD.

AKULA, S., KARUNAKARAN, K. P. Hybrid adaptive layer manufacturing: A intelligent art of direct metal rapid tooling process. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**. nº 22, p. 113-123, abr. 2005.

ALTAN, T., FALLBÖHMER, P., RODRÍGUES, C. A., ÖZEL, T. High-speed cutting of cast iron and alloy steels – state of research. **Journal of Material Processing Technology**, nº 98, p. 104-115, 2000.

ALTAN, T., LILLY, B. W., KRUTH, J. P., KÖNIG, W., TÖNSHOFF, H. K., van LUTERVELT, KHAIRI, A. B. Advanced techniques for dies and mold manufacturing. **Annals of the CIRP**, v. 42, nº 2, p. 707 – 715, 1998.

AMERICAN MACHINIST. **Composite Tooling Board Cuts Production Time**. nº 11, p. 102-103, nov. 2000.

ALVES JÚNIOR, V. **Aplicação de Ferramental Rápido para Conformação de Chapas Metálicas**. 2003, 87 f. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Pós Graduação da Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

AMORIM, J. R. de, VOLPATO, N. Um estudo visando ampliar o campo de aplicação do ferramental rápido usinado. In: COBEF 2005. **Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação**, 2005, Joinville em CD

AMORIM, J.R.,DERENIEVICKI FILHO, O. VOLPATO, N.; Um estudo sobre o emprego de protótipos no desenvolvimento de produtos. **Ferramental Revista Brasileira da Indústria de Ferramentais**, Joinville-SC, nº 5, p. 37-44, 2006.

BARRY, C.; BOOTHROYD, P.; LAI, F.; NUNN, R. E.; ORROTH, S. A.; SCHOTT N. R. **Short Shot Method of Injection Molding**, 6.ed., Plastics Processing Laboratory

Syllabus, University of Massachusetts, Lowell-Plastic Engineering Department, 61p. 1995.

BEAMAN, J. J., BARLOW, J. W., BOURELL, D. L., CRAWFORD, R. H., MARCUS, H. L., MCALEA, K. P. **Solid Freeform Fabrication: A new direction in manufacturing.** [S. L.]: Kluwer Academic Publishers, 1997, 330p.

BLASS, A. **Processamento de Polímeros.** 2º ed. Florianópolis: Editora da Universidade Federal de Santa Catarina, 1988. 313p.

BRALLA, J. G. **Design for Manufacturability Handbook.** 2º ed. New York: McGraw-Hill, 1998.

CAVALHEIRO, A. Z., AHRENS, C. H., SALMORIA, G. V. Utilização de moldes fabricados por estereolitografia na moldagem por injeção de termoplásticos: análise crítica e perspectivas futuras. In: COBEF 2005. **Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação**, 2005, Joinville, em CD.

CHEAH, C. M., CHUA, C. K., ONG, H. S. Rapid moulding using epoxy tooling resin. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology.** nº 20, p. 368-374, 2002.

CHUA, C. K., HONG, K. H., HO, S. L. Rapid tooling technology. Part 1. A comparative study. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology.** n 15, p. 604-608, 1999.

COOLE, T. J., SIMÕES, J. F. C. P. A., CHESHIRE, D. G., MESQUITA, M. D. R. Analysis of CNC machining technology in production of plaster moulds. **British Ceramic Transactions**, v. 100, nº 3, p. 134-139, 2001.

DALGARMO, K., STEWART, T. Production tooling for polymer moulding using the rapidsteel process. **Rapid Prototyping Journal.** v. 7, nº 3, p. 173-179, 2001.

DEGARMO, E. P., BLACK, J. T., KOHSER, R. A. **Materials and Processes in Manufacturing.** 9º ed. [S. L.]: Wiley, 2003. 1154 p.

DING, Y., LAN, H., HONG, J. AND WU, D. An integrated manufacturing system for rapid tooling based on rapid prototyping. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing.** p.1-8, out, 2003.

DORF, R. C., e KUSIAK, A. **Handbook of Design, Manufacturing and Automation**. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1994. 1042 p.

DULIEU-BARTON, J.M. E FULTON, M.C. Mechanical properties of a typical stereolithography resin. **Journal of Strain**, v. 36, nº 2, p. 81-87, 2000.

DUTSON, A. F., WOOD, K. L. Using rapid prototypes for functional evaluation of evolutionary product design. **Rapid Prototyping Journal**. v. 11, nº 3, p. 125-131, 2005.

DUTSON, A. F., WOOD, K. L., BEAMAN, J. F., CRAWFORD, R. H., BOURELL, D. L. Application of similitude techniques to functional testing of rapid prototypes. **Rapid Prototyping Journal**. v. 9, nº 1, p. 6-13, 2003.

EPPINGER, S. D., WHITNEY, D. E., SMITH, R. P., GEBALA, D. A. A model-based for organizing tasks in product development. **Research in Engineering Design**. v. 6, nº 1, p.1-13, 1994.

FERREIRA, J. C., MATEUS, A. Studies of rapid soft tooling with conformal cooling channels for plastic injection moulding. **Journal of Material Processing Technology**. v. 142, p. 508-516, abr, 2003.

FILHO, M. S., AHRENS, C. H, SCHOROETER, R. B. Uma alternativa para usinar cavidades de moldes de injeção com CAD/CAM. **Revista Máquinas e Metais**, São Paulo, p. 94-105, set. 2001.

FOGGIATTO, J. A. O uso da prototipagem rápida na área médico-odontológica. **Tecnologia e Humanismo**, Curitiba, nº 30, p.60-68, 2006.

GAMA, E., B. da. CAD X AutoCAD. **Revista CADware**, nº 11, p. 6, 1999.

GARCIA, J. P., CARVALHO, J. de. Ferramental rápido - uma nova tecnologia no desenvolvimento de produtos. In: 1º COBEF. 2001,. **Anais do 1º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação**. Curitiba – Paraná, em CD

GLANVILL, A. B., DENTON, E. N. **Moldes de Injeção: princípios básicos e projetos**. 2º ed. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 1989. 304 p.

GOMIDE, R. B. **Fabricação de Componentes Injetados com o Uso de Insertos de Resina Termofixa Produzidos por Estereolitografia**. 2000. Dissertação

(Mestrado) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

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

GUNNINCK, J.W. Como acelerar os processo de prototipagem e ferramental com a tecnologia STL. **Revista Máquinas e Metais**. São Paulo, p. 150-169, jun, 2000.

HARADA, J. **Moldes para Injeção de Termoplásticos: Projetos e princípios básicos**. São Paulo: Editora Artliber, 2004. 308 p.

HARTLEY, J. R. **Engenharia Simultânea**. São Paulo: Editora Bookman, 1998.

HILTON, P. D., JACOBS, P. F. **Rapid Tooling: Technologies and industrial applications**. 1º ed. New York: Editora Marcel Dekker, Inc, 2000, 269 p.

HUANG, H. K., LIN, G. C. I. Rapid and flexible prototyping through a dual-robot workcell. **Robotics and Computer Integrated Manufacturing**. nº 19, p. 263-272, dec. 2002.

HUR, J., LEE, K., ZHU-HU, KIM, J. Hybrid rapid prototyping system using machining and deposition. **Computer-Aided Design**. nº 34, p. 741-754, set, 2001.

JACOBS, P. F. **Stereolithography and Other RP&M Technologies: From Rapid Prototyping to Rapid Tooling**. [S. L.]: Society Of Manufacturing Engineers, 1996. 391 p.

KING, D., TANSEY, T. Alternative materials for rapid tooling. **Journal of Materials Processing Technology**. nº 121, p. 313-317, set, 2001.

KLOCKE F., NÖKEN ST., ALTMÜLLER S., HOLGER W., WÜRTZ C. Fabricação de modelos, matrizes e moldes no encadeamento integrado de processos. **Máquinas e Metais**. São Paulo, p. 93-100, jan, 1998.

KNOPPERS, R., GUNNINK, J. W. Ferramental de compactação de tempo usando tecnologia e arquivos stl. **Revista Máquinas e Metais**. São Paulo, p. 124-137, ago, 2000.

LANZ, R. W., MELKOTE, S. N., MAHESH, A. K. Machinability of rapid tooling composite board. **Journal of Material Processing Technology**, nº576, p. 1-4, 2002.

LYE, M. Operation fulcrum and the fulcrum concept. **Materials and Design**. nº 21, p. 33-38, 2000.

MALLOY, R. A. **Plastic Part Design for Injection Mold**: an introduction. Cincinnati: Hanser Gardner Publications, 1994. 460 p.

MARCONDES, C.M., NETTO, A. B., TANIO, F.H. **Usinagem em Altíssimas Velocidades: Como Conceitos HSM/HSC Podem Revolucionar a Indústria Metal-Mecânica**. São Paulo: Editora Érica, 2003.

MARTINS, J., MONTEIRO, A., BARBOSA, J. Engine design using rapid prototyping techniques. In: COBEM 2005, 2005. **Proceedings of 18<sup>th</sup> International Congress of Mechanical Engineering**. Ouro Preto MG. Novembro 6-11, 2005.

MENGES, G., MOHREN, P. **How to Make Injection Molds**. 2<sup>nd</sup> ed., New York: Hanser, 1993. 539 p.

MÜLLER, H., SLADOJEVIC, J. Rapid tooling approaches for small lot production of sheet-metal parts. **Journal of Materials Processing Technology**. nº 115, p. 97-103, 2001.

NAKAGAWA, T. Advances in prototype and low volume sheet forming and tooling. **Journal of Materials Processing Technology**. nº 98, p. 244-250, 2000.

PRINZ, F. B., ATWOOD, C.L., AUBIN, R.F., BEAMAN, J. J., FUSSELL, P. S., LIGHTMAN, A. J., SACHS, E., WEISS, L. E., WOZNY, M. J., Rapid Prototyping in Europe and Japan. **Rapid Prototyping Association of the Society of Manufacturing Engineers**, v. 1, 1997.

PROTOFORM GMBH. **Space Puzzle Molding**. 2004. Disponível em: <<http://www.protoform.com>>. Acesso em 18 de abril de 2004.

RADSTOCK, E. Rapid tooling. **Rapid Prototyping Journal**. v. 5, nº 4, p. 164 – 168, 1999.

ROSATO, D. V., ROSATO, D. V., ROSATO, M. G. **Injection Mold Handbook**. 3<sup>o</sup> ed. London: Kluwer Academic Publishers, 2000. 1457 p.

ROSOCHOWSKI, A., MATUSZAK, A. Rapid tooling: the state of the art. **Journal of Materials Processing Technology**. nº 106, p. 191-198, 2000.

- SANDVIK (Comp.). **Usinagem em Altíssimas Velocidades**: Como os conceitos HSM/HSC podem revolucionar a indústria metal-mecânica. São Paulo: Érica, 2003. 214 p.
- SCHÜTZER, K., HENRIQUES, J., R., Intercâmbio de dados no desenvolvimento do produto. **Revista Engenharia Automotiva e Aeroespacial – SAE Brasil**, Ano 3, nº 11, p. 26 – 36, 2002.
- SEGAL, F., I., CAMPBELL, R., I. A review of research into the effects of rapid tooling on part properties. **Rapid Prototyping Journal**. v. 7, nº 2, p. 90-98, 2001.
- SIMÕES, F. M. S. **Implementação de um Sistema CAD/CAM para Fresadoras CNC a Partir de Funções CAM Implementadas no CAD**. 1999, 152 f. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 1999.
- SKF Ferramentas**: Manual técnico. [S. L.]: Câmara Brasileira do Livro, 1989.
- SMITH, R. P. E MORROW, J. A. Product development process modeling **Design Studies**. nº 20, p. 237-261, 1999.
- TAYLOR, J. B., CORMIER, D. R., JOSHI, S., VENKATARAMAN, V. Contoured edge slice generation in rapid prototyping via 5-axis machining. **Robotics and Computer Integrated Manufacturing**. nº 17, p. 13-18, 2001.
- TOMORI, T., MELKOTE, S., KOTNIS, M. Injection mold performance of machined ceramic filled epoxy tooling boards. **Journal of Materials Processing Technology**. v. 145, p. 126-133, 2004.
- URBANSKI, J. P., KOSHY, P., DEWES, R. C., ASPINWALL, D. K. High speed machining of moulds and dies for net shape manufacture. **Materials and Design**. nº 21, p. 395-402, 2000.
- VASCONCELOS, P. V., LINO, F. J., MAGALHÃES, A., NETO, R. J. L. Impact fracture study of epoxy-based composites with aluminium particles and milled fibres. **Journal of Materials Processing Technology**. v. 170, p. 277-283, 2005.
- VOLPATO, N. Modelamento e geração de programa CNC para a usinagem de moldes. **Máquinas e Metais**. São Paulo, p. 62-76, jan, 1995.

VOLPATO, N. Prototipagem rápida/ferramental rápido no processo de desenvolvimento do produto. **Máquina e Metais**. São Paulo, p 76 – 89, jun, 1999.

VOLPATO, N. **Recursos CAD/CAM Voltados ao Modelamento e a Usinagem de Cavidades para Moldes, Com Estudo de Caso**. 1993. 133 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1993.

VOLPATO, N. Sistemas CAD/CAM no auxílio à manufatura. Apostila. Curitiba: CEFET-PR, 2002.

VOLPATO, N., AMORIM, J.R., 2004 Limitações do processo de usinagem CNC para ferramental rápido. In: CONEM 2004. **Anais do 3º Congresso Nacional de Engenharia Mecânica**, 2004. Belém – PA, em CD.

VOLPATO, N., AMORIM, J.R., MANENTE, M.M., The use of epoxy resins as insert for injection mould. In: COBEM 2003, 2003. São Paulo – SP. **Proceedings of the 18<sup>th</sup> International Congress of Mechanical Engineering**, em CD.

VOLPATO, N., DERINIEVICKI, O. Uma análise da usinagem de resinas para ferramental rápido. In: COBEF 2005, 2005. Joinville-SC. **Anais do 3º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação**. em CD

WEINERT, K., GUNTERMANN, G. Usinagem de superfícies complexas. **Revista Máquinas e Metais**, São Paulo, p. 50-60, abr, 2000.

WOHLERS, T., GRIMM, T. **Is cnc machining really better than rp?** Disponível em: <<http://www.tagrimm.com/publications/perspectives-jan2003.html>>. Acesso em: 05 jan. 2004.

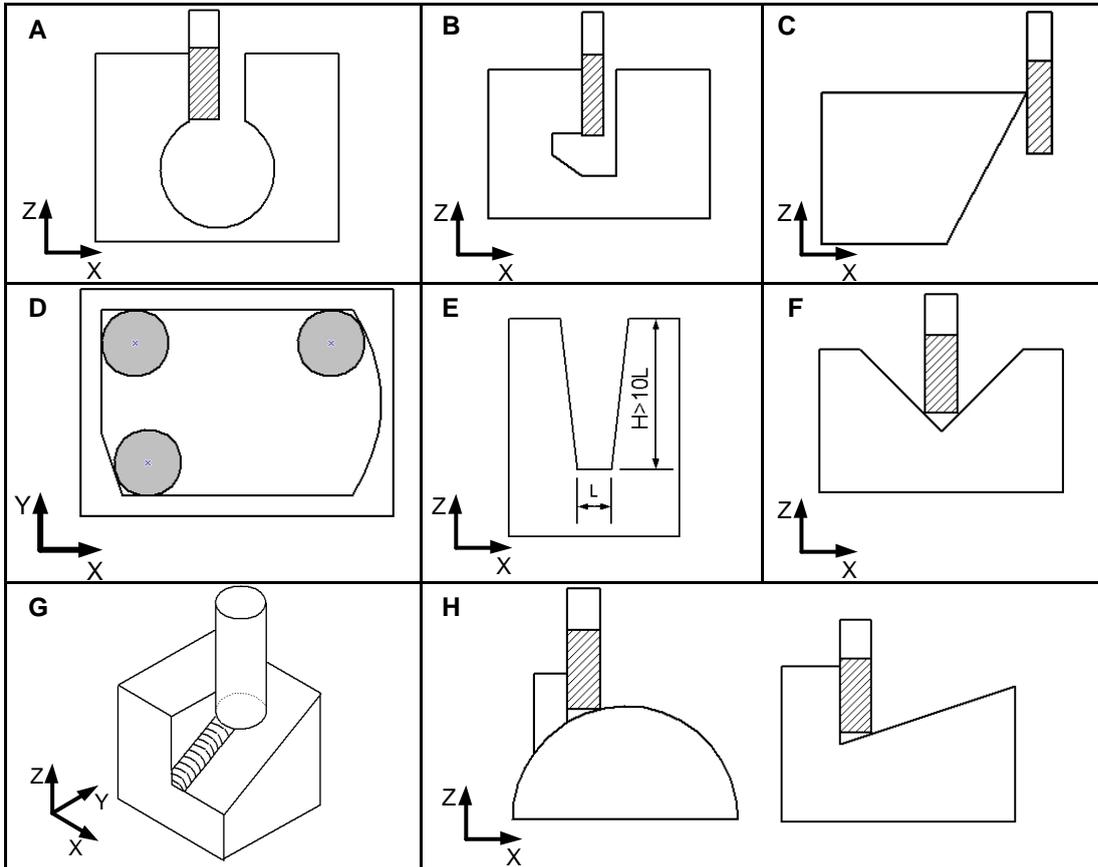
YAN, X., GU, P. A review of rapid prototyping technologies and systems. **Computer Aided Design**. v. 28, nº 4, p.307-318, 1996.

YANG, M. Y., RYU, S. G. Development of a composite suitable for rapid prototype machining. **Journal of Material Processing Technology**. nº 113, p. 280 – 284, 2001.

ZEID, I. **Mastering CAD/CAM**. 1º ed. New York: Editora McGraw Hill, 2005. 962 p.

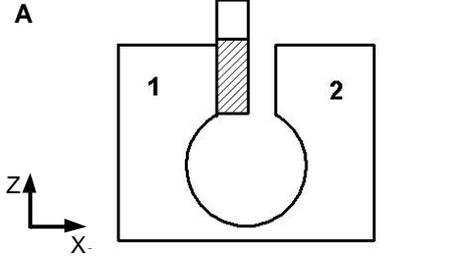
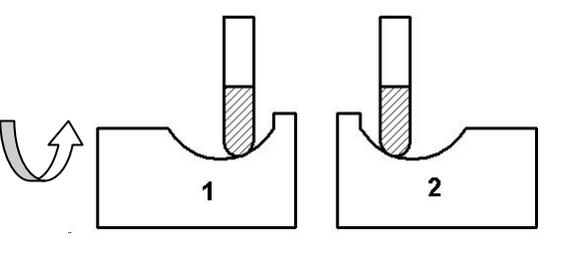
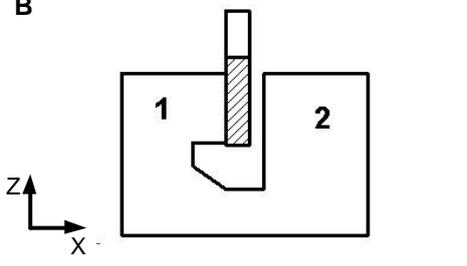
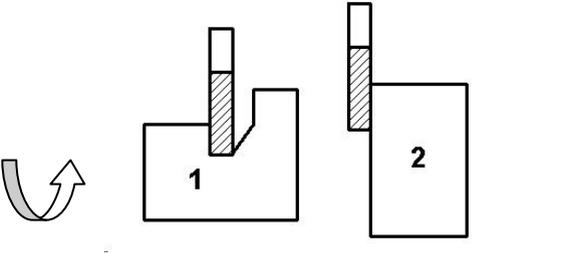
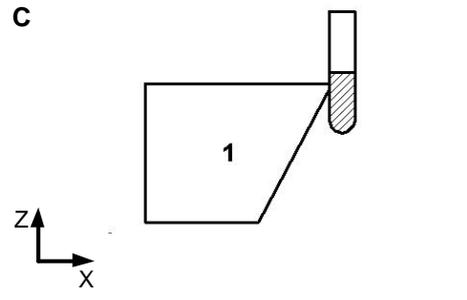
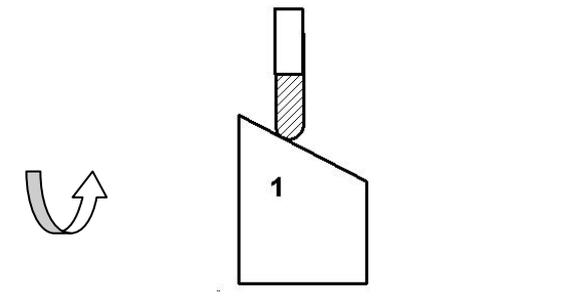
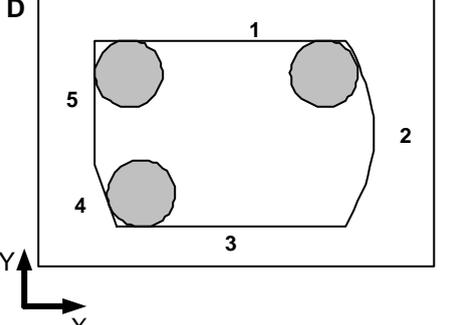
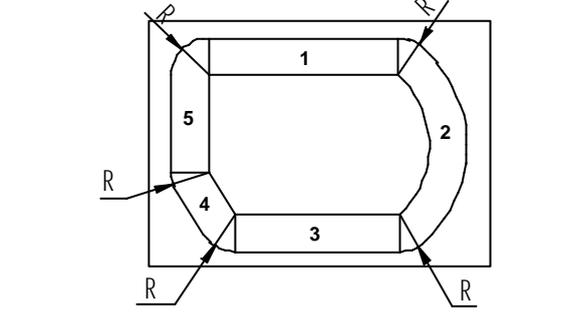
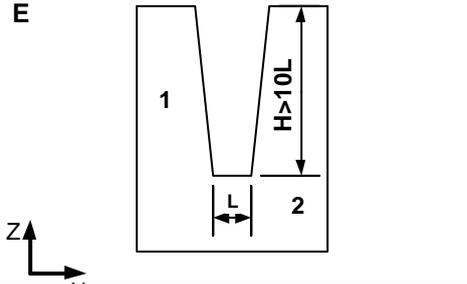
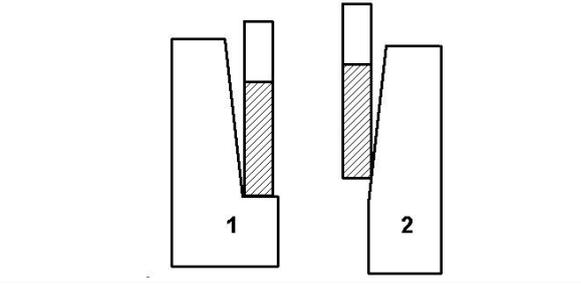
## APÊNDICE A – PROCEDIMENTOS DA SISTEMÁTICA

### PROCEDIMENTO I – TABELA DE REGIÕES PROBLEMÁTICAS

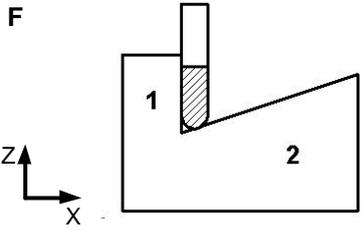
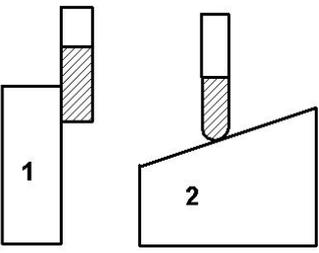
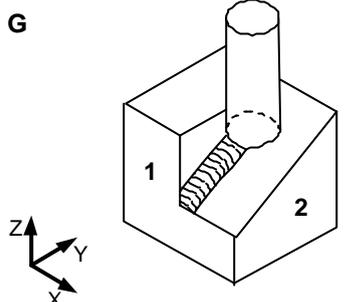
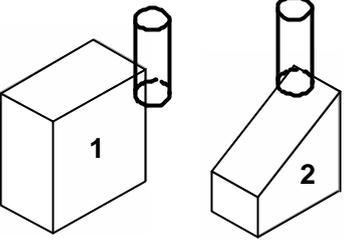
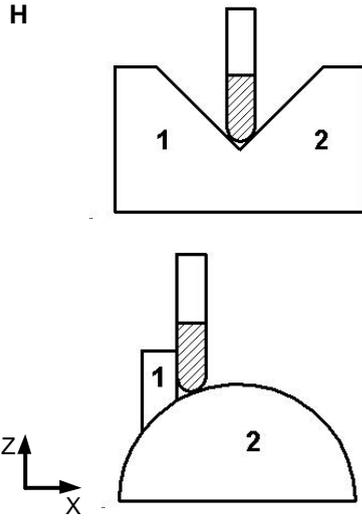
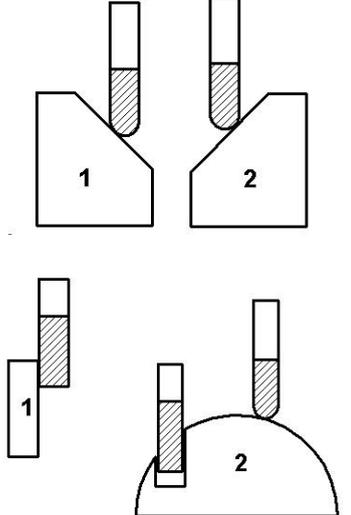


H= altura, L= largura

## PROCEDIMENTO II – SUGESTÕES DE POSIÇÕES PARA AS REGIÕES PROBLEMÁTICAS

Regiões Problemáticas	Postiços
<p><b>A</b></p> 	
<p><b>B</b></p> 	
<p><b>C</b></p> 	
<p><b>D</b></p> 	
<p><b>E</b></p> 	

Continuação.

Regiões Problemáticas	Postiços
<p><b>F</b></p> 	
<p><b>G</b></p> 	
<p><b>H</b></p> 	

## PROCEDIMENTO III – RECORTES

### DEFINIÇÃO DA ALTURA DOS POSTIÇOS

A altura dos postiços é dividida em três regiões: geometria, região guia e região de ajuste manual, como mostrado na figura 1 – III

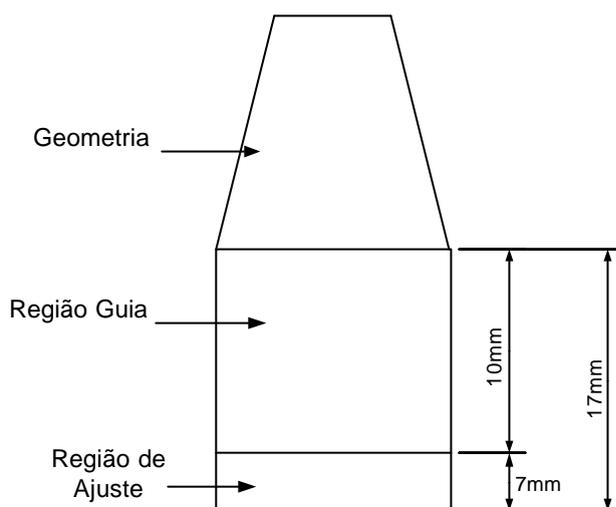


Figura 1 - III Regiões do Postiço

A finalidade de cada uma das regiões é explicado abaixo.

**Geometria:** esta é a região do postiço responsável pela forma geométrica da peça a ser injetada.

**Região guia:** esta região é formada pelo processo de fresamento e servirá de guia para o postiço quando o mesmo for montado em seu alojamento.

**Região de ajuste manual:** esta região será lixada após o postiço ser usinado e recortado da base para a retirada de excesso de material. Neste local não é necessária precisão dimensional podendo ser lixada com menos esmero por parte do operador.

O recorte é realizado seguindo os passos mostrados a seguir.

## RECORTES – PRIMEIRA ETAPA

1º. Criar um plano à aproximadamente 5mm acima do ponto mais alto da geometria do inserto para a definição do perfil de cada posição (Figuras 2 – III (a) e (b))

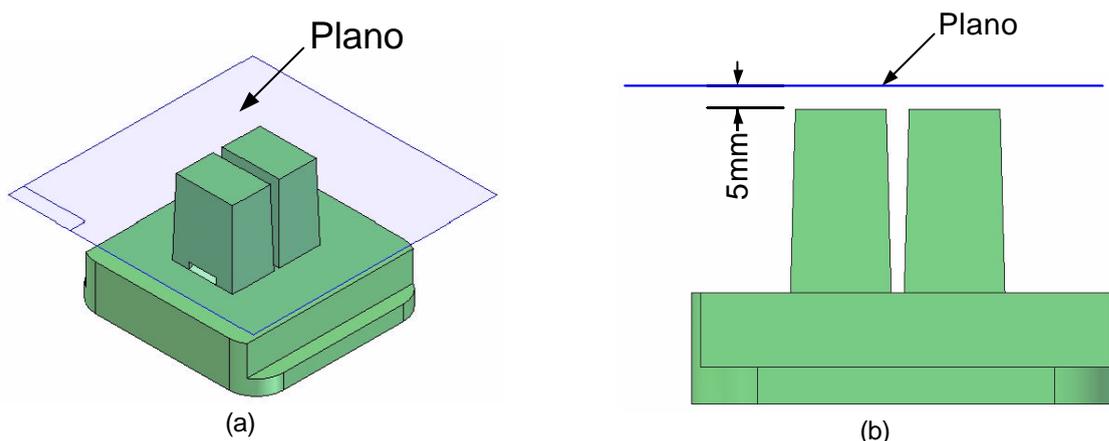


Figura 2 – III Plano para recorte dos posições, vista iso (a) e vista lateral (b).

2º. Selecionar o plano criado anteriormente para a criação da geometria do posição que será recortado do inserto

3º. Definir a geometria do recorte, levando em consideração as sugestões do **Procedimento II**

4º. Desenhar o perfil que dará formato a geometria do posição, tomando o cuidado para se preservar as características do inserto. Observar com atenção as linhas que delimitam o ângulo de desmolde do inserto (Figura 3 (a) – III) e os raios (Figura 3 – III (b)).

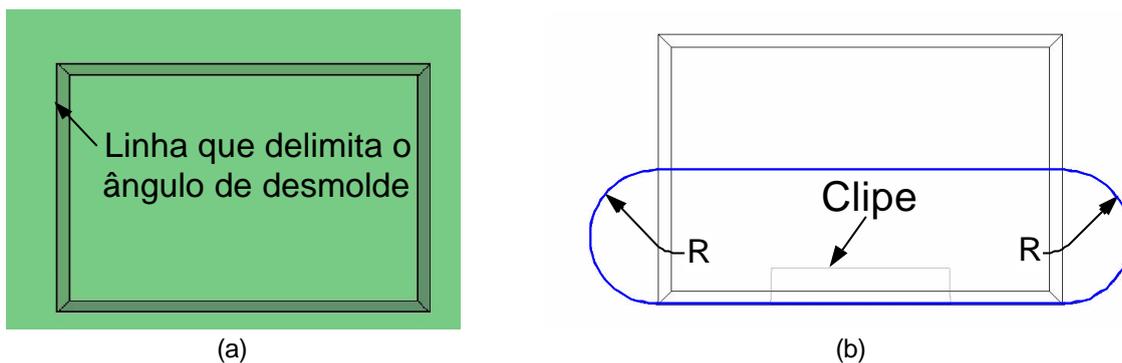


Figura 3 – III Definição do perfil para recorte do postigo (a) e (b)

**RECORTES – SEGUNDA ETAPA**

5º. Após desenhar o perfil que dará origem ao postigo, fazer o recorte selecionando a retirada de material do lado externo do perfil proposto (Figura 4 (a) e (b) – III)

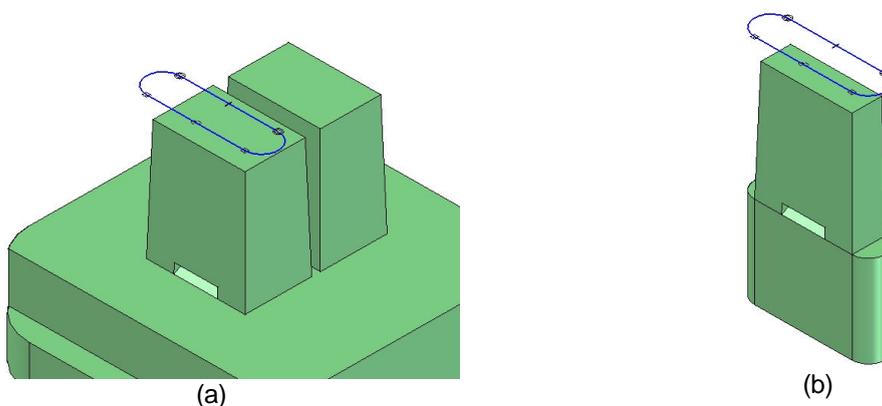


Figura 4 – III Recorte do perfil do postigo (a) e (b)

**RECORTES – TERCEIRA ETAPA**

6º. Feito o recorte do postigo, verificar se nenhuma característica do inserto foi danificada. Caso haja alguma modificação, retornar a definição do perfil e refazê-lo.

7º. Definir a altura dos postigos (Figura 5 – III (a), (b) e (c)) realizando um corte a partir da sua base inferior de modo que o mesmo possua as regiões e as dimensões apresentadas na Figura 1 – III.

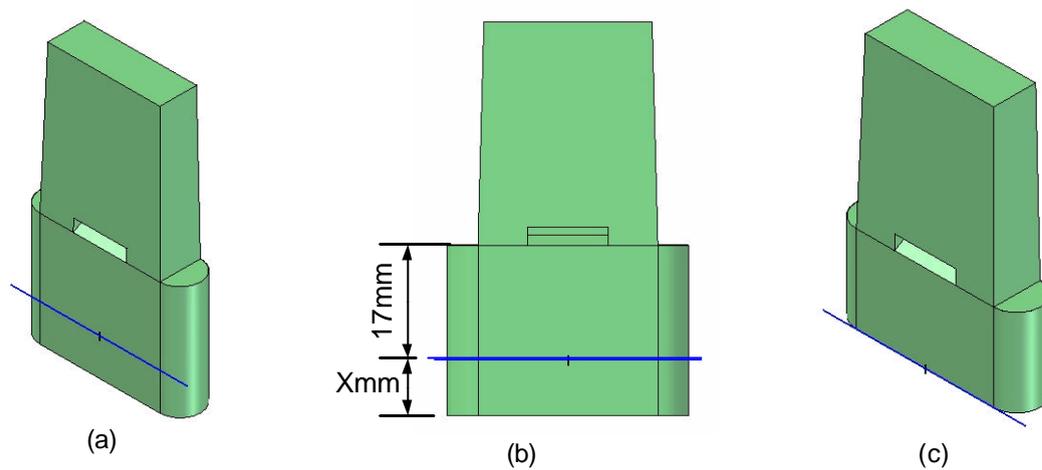


Figura 5 – III Recorte da altura do postigo (a), (b) e (c)

8º. Se o recorte estiver correto, salvar o arquivo com um novo nome (por exemplo, Postigo 1) em um local apropriado

## PROCEDIMENTO IV – CRIAÇÃO DOS ALOJAMENTOS NOS INSERTOS

1º. Abra o arquivo do inserto (macho ou fêmea) no qual serão criados os alojamentos para a montagem dos postigos (Figura 1 – IV).

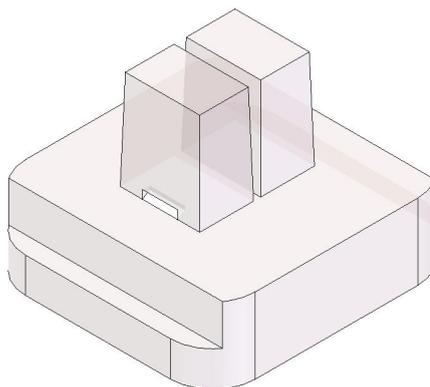


Figura 1 – IV Inserto macho

2º. Salve o arquivo com outro nome (por exemplo, macho ou fêmea alojamento)

3º. Através de operações booleanas, insira o primeiro postigo que faz parte deste inserto (Figura 2 – IV)

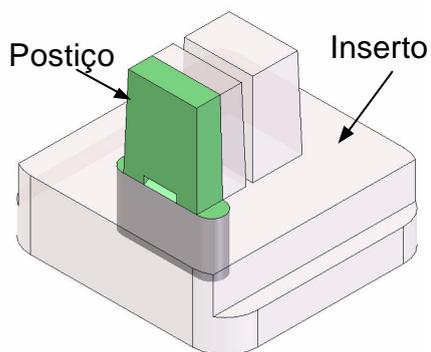


Figura 2 – IV Postigo inserido no inserto macho

4º. Retire o postigo inserido usando uma operação booleana de subtração. Será criado o primeiro alojamento (Figura 3 – IV)

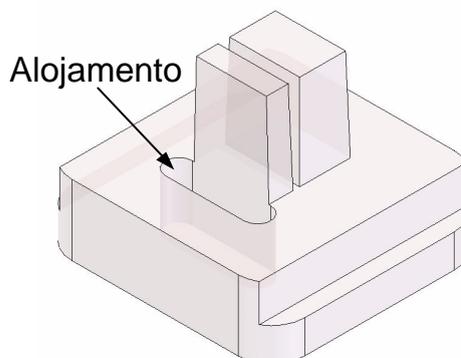


Figura 3 – IV Inserto macho com o primeiro alojamento

5º. Repita a operação até que todos os postigos que fazem parte deste inserto tenham sido inseridos e retirado, formando assim todos os alojamentos (Figura 4 – IV)

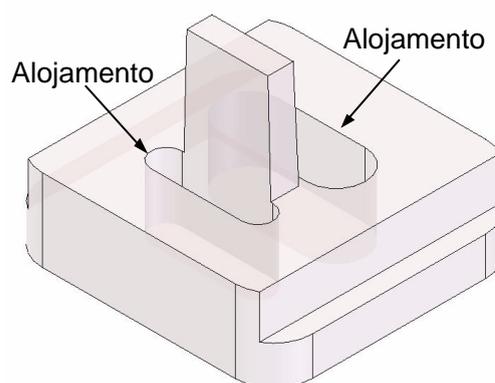


Figura 4 – IV Inserto macho com todos os alojamentos

**PROCEDIMENTO V – VERIFICAÇÃO DE RECORTES E ALOJAMENTOS**

1º. Abrir no CAD o arquivo do inserto sem os recortes (Figura 1 – V).

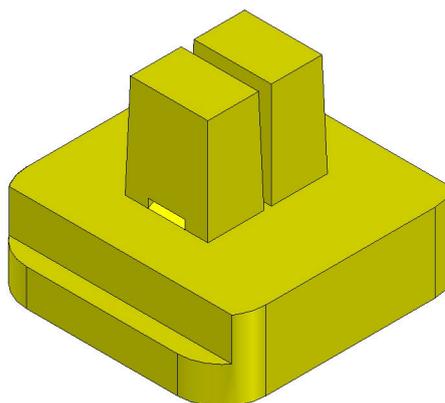


Figura 1 – V Inserto macho sem recortes

2º. Através de operações booleanas inserir o arquivo de montagem do inserto com o(s) postigo(s) no arquivo que está sendo trabalhado (Figura 2 – V).

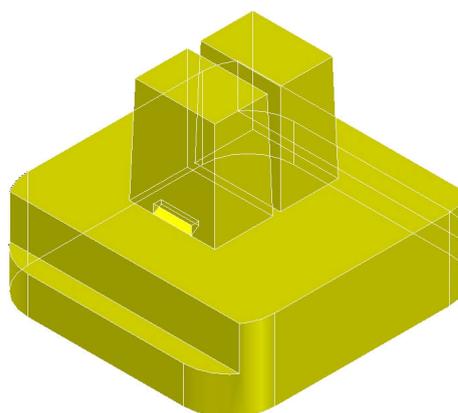


Figura 2 – V Inserção do arquivo de montagem

3º. Ainda com operações booleana subtrair o arquivo do inserto sem recortes pelo arquivo de montagem.

4º. Se houver alguma sobra de material após a subtração será devido a existência de falhas na fase de recorte ou na fase de montagem dos postigos no inserto.

5º. Verificar qual o problema e corrigi-lo.

**PROCEDIMENTO VI – MONTAGEM DOS POSTIÇOS PARA USINAGEM ÚNICA**

1º. A base deve ser em um formato retangular ou quadrado com uma espessura de 7mm.

2º. Os postiços devem ser montados com a face inferior de cada um em contato com a face inferior da base, conforme mostra a Figura 1 – VI (a), (b) e (c)

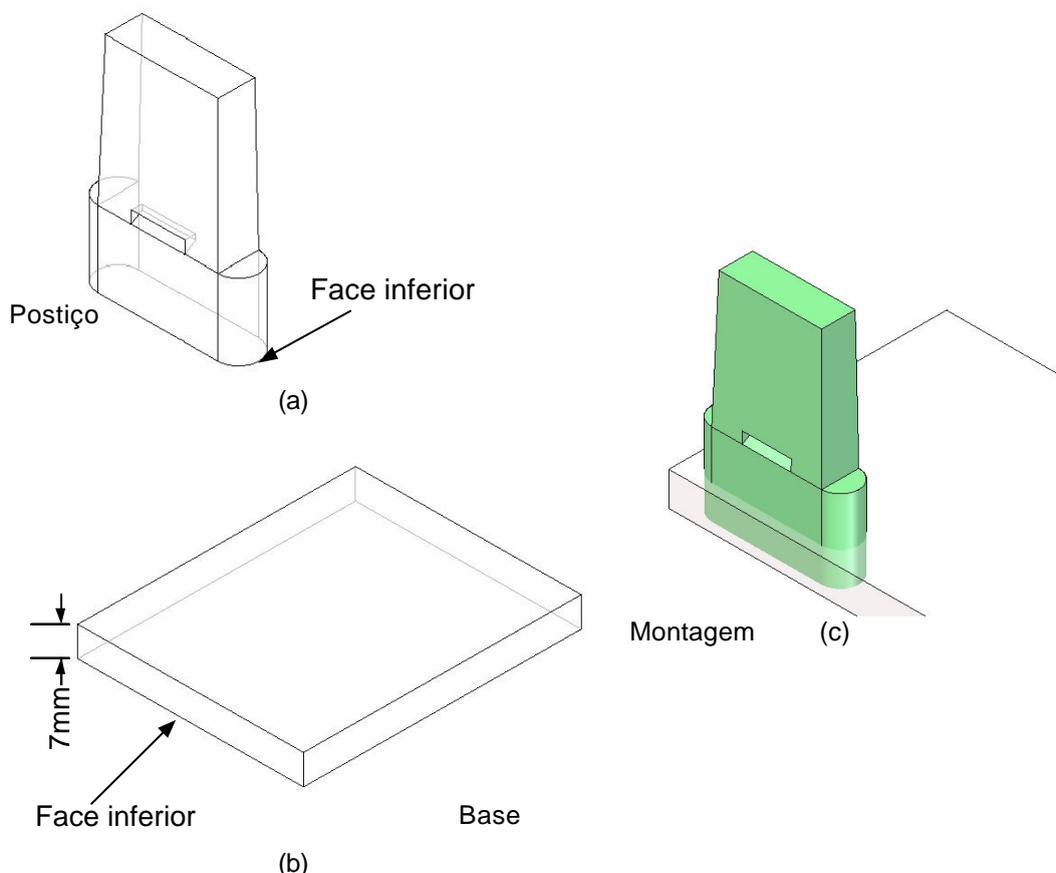


Figura 1 – VI Postiço (a), base (b) e montagem (c)

3º. Os postiços próximos às bordas da base devem ficar a uma distancia de no mínimo 2mm das mesmas (Figura 2 – VI).

4º. A distancia de um postiço ao outro na base deverá ser igual ao diâmetro da maior ferramenta, que será usado na usinagem, mais 0,4mm (Figura 2 – VI). Este valor é sugerido para que se tenha um sobre material para a usinagem de

acabamento. Neste caso o sobre material será de 0,2mm para cada parede dos postigos. Na Figura 3 – VI é possível entender melhor está idéia.

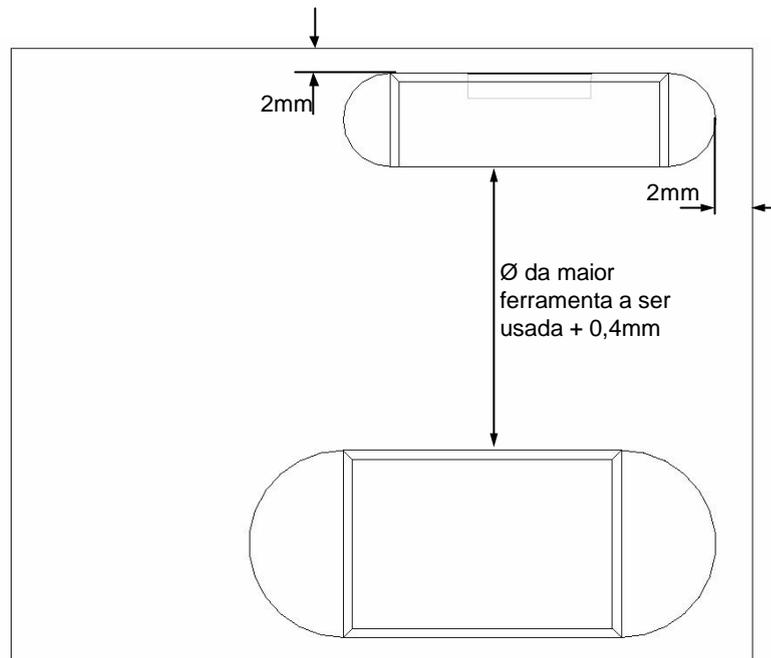


Figura 2 – VI Posição dos postigos na base

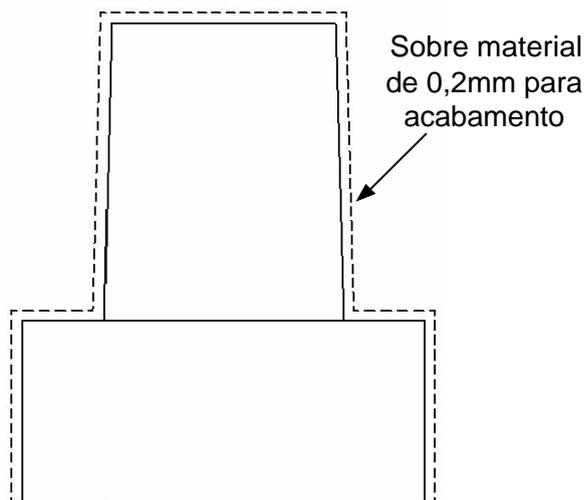


Figura 3 – VI Sobre-material dos postigos

**PROCEDIMENTO VII – CRIAÇÃO DE ESTRATÉGIAS DE USINAGEM**

1º. O zero peça deve ser posicionados na face inferior da base e no centro do bloco (Figura 1 – VII (a)) ou na face inferior e em um dos vértices (Figura 1 – VII (b))

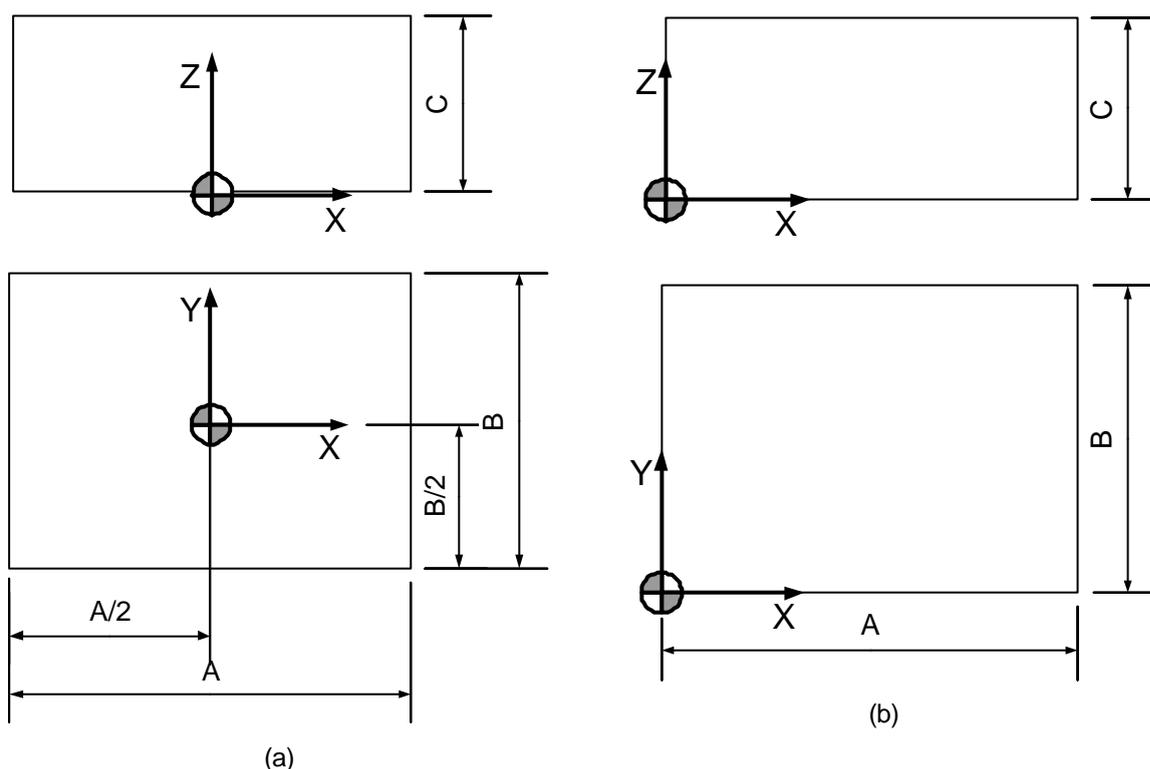


Figura 1 – VII Posições para o zero peça no bloco (a) e (b)

2º. A(s) estratégia(s) de usinagem de desbaste deve deixar um sobre material de 0,2mm para as estratégias de acabamento

3º. A utilização de ferramentas pequenas, menores do que 2mm, devem ser seguidas de cuidados maiores principalmente com relação ao volume de material a ser usinado e os parâmetros de corte a serem escolhidos

4º. As estratégias de acabamento devem utilizar sobre material igual a zero

5º. Os parâmetros de corte a serem empregados devem ser condizentes com a resina a ser usinada

6º. Gerar folhas de processo para cada um dos insertos e para os postigos (Exemplo no Apêndice B)

## ANEXO A – MÉTODO *SHORT SHOT*

### PROCEDIMENTO INICIAL:

1. Assuma que a temperatura do molde já foi determinada na máquina;
2. Assuma que a temperatura de injeção do polímero já está determinada;
3. Os passos devem ser seguidos na ordem como segue abaixo:

### PASSOS:

#### **1º. AJUSTANDO O CURSO DE DOSAGEM (volume de material a ser injetado na cavidade)**

- a) Ajuste a pressão de recalque igual a “Zero”;
- b) Ajuste o tempo de recalque igual a “Zero”;
- c) Ajuste a velocidade de injeção de MÉDIA para ALTA;
- d) Ajuste o tempo (1º estágio) para um valor MAIOR do que o necessário para preencher o molde;
- e) Ajuste a pressão (1º estágio) para um valor MAIOR do que o necessário para preencher o molde;
- f) Ajuste o valor do curso do fuso (volume de material) para um valor MENOR do que o necessário para preencher a cavidade do molde;
- g) Injete uma peça – o resultado deverá ser uma peça incompleta;
- h) Continue injetando peças, aumentando gradualmente o curso do fuso (volume de material) – quando a peça estiver entre 95-98% preenchida, é sinal que o curso do fuso (volume de material) está OK. (Aviso: O parafuso deve estar no seu fim de curso nesse estágio. Não deve existir COLCHÃO).

## **2º. CHECAGEM DA VELOCIDADE DE INJEÇÃO (volume de material a ser injetado na cavidade):**

a) Injete algumas peças conforme as condições descritas no item “1.h”, e cheque se:

I. Se próximo do “ponto de injeção” houver queima ou descoloração do material, ou se a peça ficar muito mole após a extração – então reduza a velocidade de injeção até os problemas desaparecerem;

II. Se próximo do “ponto de injeção” houver marcas de fluxo (marca fria), então aumente a velocidade de injeção até que o problema desapareça.

## **3º. AJUSTANDO A PRESSÃO DE INJEÇÃO:**

a) Continuando o passo 2.a, ajuste a pressão de injeção (1º estágio) para um valor insuficiente para preencher o molde;

b) Injete uma peça – o resultado deve ser uma peça incompleta;

c) Continue injetando peças, AUMENTANDO gradualmente a pressão de injeção – quando a peça estiver com 95-98% preenchida, se a aparência da peça estiver compatível com a do passo 2.a, então a pressão está OK. (Aviso: O parafuso de injeção deve estar no seu fim de curso. Não deve mais existir material para ser injetado).

## **4º. AJUSTANDO O TEMPO DE INJEÇÃO:**

a) Continuando o passo 3.c, ajuste o tempo de injeção (1º estágio) para um valor insuficiente para preencher o molde;

b) Injete uma peça – o resultado deve ser uma peça incompleta;

c) Continue injetando peças, AUMENTANDO gradualmente o tempo de injeção – quando a peça estiver 95-98% preenchida, se a aparência da peça estiver compatível com a do passo 3.c, a pressão de injeção (1º estágio) está OK. (Aviso: O parafuso de injeção deve estar no seu fim de curso. Não deve mais existir mais material para ser injetado).

Obs.: Máquinas CNC fornecem valores reais de tempo de injeção que podem ser visualizadas no passo 3.

#### **5º. AJUSTANDO O TEMPO DE RECALQUE:**

- a) Continuando do passo 4.c, aumente o CURSO DE DOSAGEM em 5-10%;
- b) Injete uma peça – a peça deveria parecer com a do passo 4.c, mas agora um COLCHÃO está presente;
- c) Ajuste a pressão de recalque (2º estágio) para 50/60% da pressão de injeção (1º estágio). Certifique-se se o tempo de recalque ainda é ZERO.
- d) Injete uma peça – a peça deveria ainda permanecer igual a do passo 5.b;
- e) Continue injetando peças, aumentando gradualmente o tempo de recalque. Pese a peça para cada incremento de tempo, até o peso parar de aumentar significativamente. Quando o peso da peça não mais variar, o tempo de recalque está OK.

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)