

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

**SISTEMÁTICA PARA SELEÇÃO DE PRINCÍPIOS DE UNIÕES  
DE COMPONENTES DE PLÁSTICO INJETADO**

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

OTÁVIO CARDOSO DE SIQUEIRA

FLORIANÓPOLIS, MARÇO DE 2001

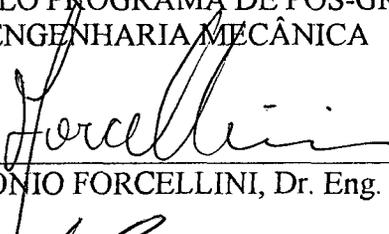
SISTEMÁTICA PARA SELEÇÃO DE PRINCÍPIOS DE UNIÕES  
DE COMPONENTES DE PLÁSTICO INJETADO

**OTÁVIO CARDOSO DE SIQUEIRA**

ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE

**MESTRE EM ENGENHARIA**

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



FERNANDO ANTONIO FORCELLINI, Dr. Eng. - ORIENTADOR



CARLOS HENRIQUE AHRENS, Dr. Eng. - CO-ORIENTADOR



JÚLIO CÉSAR PASSOS, Dr. - COORDENADOR DO CURSO

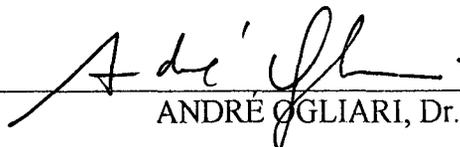
**BANCA EXAMINADORA**



MARCELO KRAJIN ALVES, Ph.D. - PRESIDENTE



JONNY CARLOS DA SILVA, Dr. Eng.



ANDRÉ OGLIARI, Dr. Eng.

## AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Otávio e Marisa, pelo amor, educação, incentivo, apoio e exemplo de vida.

Ao professor Forcellini, pela orientação, opiniões decisivas, sugestões importantes para o enriquecimento do trabalho e incentivo, principalmente nos momentos de maior dificuldade.

Ao meu pai Otávio, pelas sugestões e correções na dissertação.

Ao professor Ahrens pelas sugestões e apoio nos momentos importantes.

Aos amigos, em especial Ângelo Reck, Clênio Marques (Mister C) e Ricardo Gomide, pelo companheirismo, convivência diária, opiniões relevantes e apoio nos momentos difíceis. Jamais esquecerei os inúmeros momentos de descontração tais como os churrascos, as corridas de kart, as praias e as partidas de futebol na Joaquina. É impossível também esquecer das festas na Continental, Lupus, Latitude, Café Cancun, Ilhéu, X-Picanha, Guaciara, Einstein e Cantuária. Florianópolis é uma cidade maravilhosa!

Aos colegas do Nedip e Cimject, pela amizade, companheirismo, apoio, discussões e sugestões durante a realização do trabalho.

Aos bolsistas Marcos Totene e Eduardo, do Nedip, pelo suporte prestado.

À Otasito Tavares, Coordenador da Engenharia de Produtos da Amanco de Joinville (meu ex-chefe), pela compreensão e apoio durante a realização da dissertação.

À Capes, pelo auxílio financeiro.

Ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da UFSC, pela oportunidade ímpar e pela estrutura oferecida para a realização do trabalho.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>vi</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>viii</b>
<b>LISTA DE SIGLAS.....</b>	<b>ix</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>x</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>xi</b>
<b>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1 - Generalidades e contextualização da dissertação.....	1
1.2 - Objetivos e contribuições.....	2
1.3 - Justificativas.....	4
1.4 - Conteúdo da dissertação.....	5
<b>CAPÍTULO 2 - REVISÃO CRÍTICA DE METODOLOGIAS DE PROJETO.....</b>	<b>7</b>
2.1 - Introdução.....	7
2.2 - Metodologias de projeto.....	7
2.3 - Metodologia de projeto de produtos de ULLMAN (1992).....	14
2.3.1 - Etapa de projeto do produto.....	14
2.4 - Sistemas técnicos.....	19
2.5 - Métodos para avaliação e tomada de decisão em projeto.....	20
2.6 - Considerações finais.....	21
<b>CAPÍTULO 3 - PROJETO DE PRODUTOS DE PLÁSTICO INJETADO: ESTADO DA ARTE.....</b>	<b>23</b>
3.1 - Introdução.....	23
3.2 - Generalidades.....	23
3.3 - Desenvolvimento de produtos de plástico injetado.....	25
3.4 - Metodologias de projeto de componentes e processo de projeto.....	27
3.4.1 - Projeto conceitual de componentes de plástico injetado.....	28
3.4.2 - Projeto preliminar de componentes de plástico injetado.....	30
3.4.3 - Projeto detalhado de componentes de plástico injetado.....	31
3.5 - Seleção de princípios de uniões de componentes de plástico injetado.....	31
3.6 - Considerações finais.....	33
<b>CAPÍTULO 4 - UNIÕES DE COMPONENTES DE PLÁSTICO INJETADO.....</b>	<b>34</b>
4.1 - Introdução.....	34
4.2 - Princípios de uniões de componentes de plástico injetado.....	34
4.2.1 - Uniões por interferência.....	34
4.2.2 - Dobradiças.....	37
4.2.3 - Engates integrais.....	42
4.2.4 - Fixadores mecânicos.....	48
A - Parafusos.....	50
B - Rebites.....	62
C - Insertos metálicos rosqueados.....	66
4.2.5 - Processos de soldagem.....	74

A - Soldagem ultrasônica.....	76
B - Soldagem por vibração.....	87
C - Soldagem rotacional.....	92
D - Soldagem eletromagnética.....	94
E - Soldagem por resistência.....	98
F - Soldagem por ferramenta aquecida.....	99
G - Soldagem por gás aquecido.....	102
4.2.6 - Uniões por adesivos.....	104
4.2.7 - Uniões por solventes.....	118
4.3 - Classificações dos princípios de uniões de componentes.....	121
4.4 - Classificações propostas para uniões de componentes de plástico injetado.....	123
4.4.1 - Classificação quanto à reversibilidade da união.....	124
4.4.1.1 - Classificação quanto à restrição de desmontagem.....	125
4.4.2 - Classificação quanto à mobilidade dos componentes.....	126
4.4.3 - Classificação quanto à estanqueidade da união.....	128
4.4.4 - Classificação quanto à acessibilidade da união.....	130
4.5 - Considerações finais.....	131
<b>CAPÍTULO 5 - SISTEMÁTICA PARA SELEÇÃO DE PRINCÍPIOS DE UNIÕES DE COMPONENTES DE PLÁSTICO INJETADO.....</b>	<b>133</b>
5.1 - Introdução.....	133
5.2 - Sistemática para seleção de princípios de uniões de componentes de plástico injetado.....	134
5.2.1 - Etapas do processo de sistematização.....	135
5.3 - Considerações finais.....	145
<b>CAPÍTULO 6 - APLICAÇÃO DA SISTEMÁTICA PROPOSTA.....</b>	<b>147</b>
6.1 - Introdução.....	147
6.2 - Irrigação por aspersão.....	147
6.3 - Engate sela.....	148
6.4 - Aplicação da sistemática.....	151
6.5 - Considerações finais.....	165
<b>CAPÍTULO 7 - CONCLUSÕES.....</b>	<b>167</b>
7.1 - Conclusões gerais.....	167
7.2 - Recomendações para trabalhos futuros.....	170
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>172</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Modelo de consenso para o projeto sistemático de produtos (OGLIARI,1999).....	12
Figura 2.2 - Etapa de projeto do produto da metodologia de ULLMAN (1992).....	15
Figura 4.1 - Uniões por interferência.....	35
Figura 4.2 - Seção transversal de uma dobradiça integrada.....	38
Figura 4.3 - Dobradiça integrada com nervura vedante.....	40
Figura 4.4 - Dobradiça de encaixe rápido.....	40
Figura 4.5 - Dobradiça pino.....	41
Figura 4.6 - Dobradiças esfera e embocadura.....	41
Figura 4.7 - Dobradiças de três componentes.....	42
Figura 4.8 - Engates integrais anulares.....	45
Figura 4.9 - Engate integral esfera e embocadura.....	46
Figura 4.10 - Engates integrais viga e gancho.....	47
Figura 4.11 - Engate integral viga e gancho.....	47
Figura 4.12 - Engate integral viga e gancho com formato U.....	48
Figura 4.13 - Parafuso passante.....	51
Figura 4.14 - Parafusos passantes em castelos cilíndricos.....	52
Figura 4.15 - Parafuso simples.....	54
Figura 4.16 - Parafuso autoatarraxante.....	55
Figura 4.17 - Parafusos autoatarraxantes cortadores de rosca.....	57
Figura 4.18 - Parafusos autoatarraxantes formadores de rosca.....	58
Figura 4.19 - Parafusos autoatarraxantes HI-LO.....	60
Figura 4.20 - Parafuso autoatarraxante PLASTITE.....	60
Figura 4.21 - Parafuso autoatarraxante PT.....	60
Figura 4.22 - Parafuso prisioneiro.....	61
Figura 4.23 - Rebite instalado com arruela de reforço.....	63
Figura 4.24 - Rebites tubulares pequenos.....	64
Figura 4.25 - Rebite tubular de compressão.....	64
Figura 4.26 - Rebite bifurcado e rebite perfurante.....	65
Figura 4.27 - Rebite cego.....	66
Figura 4.28 - Inserto metálico rosqueado.....	67
Figura 4.29 - Inserto com entalhes e recartilhados.....	68
Figura 4.30 - Uniões planas para soldagem ultrasônica.....	79
Figura 4.31 - União pinch para soldagem ultrasônica.....	80
Figura 4.32 - União de encaixe para soldagem ultrasônica.....	80
Figura 4.33 - União macho e fêmea para soldagem ultrasônica.....	81
Figura 4.34 - Uniões por interferência para soldagem ultrasônica.....	81
Figura 4.35 - União chanfrada para soldagem ultrasônica.....	82
Figura 4.36 - Uniões planas para soldagem por vibração.....	91
Figura 4.37 - Uniões para soldagem rotacional.....	93
Figura 4.38 - União para soldagem eletromagnética com implante.....	94
Figura 4.39 - Uniões para soldagem eletromagnética.....	98
Figura 4.40 - Uniões para soldagem por ferramenta aquecida.....	102
Figura 4.41 - Uniões para soldagem por gás aquecido.....	103
Figura 4.42 - Tensões atuantes que podem ocorrer numa união por adesivos.....	115

Figura 4.43 - Uniões para colagem por adesivos.....	117
Figura 4.44 - Uniões para colagem por solventes.....	120
Figura 5.1 - Etapas para o processo de sistematização da seleção de princípios de uniões de componentes de plástico injetado.....	134
Figura 5.2 - Diagrama de ligações para a identificação das interfaces .....	136
Figura 5.3 - Matriz Decisão de PUGH (1991).....	143
Figura 6.1 - Engate sela.....	148
Figura 6.2 - Tubos a serem unidos.....	149
Figura 6.3 - Montagem do conjunto.....	150
Figura 6.4 - Vistas da concepção da sela.....	151
Figura 6.5 - Vistas da concepção da braçadeira.....	152
Figura 6.6 - Diagrama de ligações aplicado ao engate sela.....	152
Figura 6.7 - Interfaces internas do engate sela.....	153
Figura 6.8 - Superfícies de união da interface 2.....	153
Figura 6.9 - Superfícies de união da interface 3.....	154
Figura 6.10 - Interação dos componentes do engate sela nas interfaces internas.....	154
Figura 6.11 - Interface 4.....	155
Figura 6.12 - Braçadeira semi-partida.....	156
Figura 6.13 - Interface 8 na braçadeira semi-partida.....	156
Figura 6.14 - Princípios de uniões selecionados para o engate sela.....	164

## LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 - Compatibilidade entre os termoplásticos para soldagem ultrasônica.....	86
Tabela 4.2 - Compatibilidade e soldabilidade dos termoplásticos para soldagem por vibração.....	90
Tabela 4.3 - Compatibilidade entre os termoplásticos para soldagem eletromagnética.....	97
Tabela 4.4 - Comparativo entre adesivos.....	111
Tabela 4.5 - Solventes utilizados para unir termoplásticos amorfos.....	120
Tabela 4.6 - Classificação dos princípios de uniões quanto à reversibilidade.....	124
Tabela 4.7 - Classificação dos princípios de uniões reversíveis quanto à restrição de desmontagem.....	126
Tabela 4.8 - Classificação dos princípios de uniões quanto à mobilidade.....	127
Tabela 4.9 - Classificação dos princípios de uniões quanto à estanqueidade.....	128
Tabela 4.10 - Classificação dos princípios de uniões quanto à acessibilidade.....	130
Tabela 5.1 - Questionário para estabelecimento dos requisitos de projeto da união de componentes de plástico injetado.....	138
Tabela 5.2 - Classificação dos princípios de uniões de componentes de plástico injetado.....	141
Tabela 5.3 - Geração do escore para seleção final da união.....	144
Tabela 5.4 - Pesos de importância para cada requisito.....	145
Tabela 5.5 - Significado do escore para seleção final da união.....	145
Tabela 6.1 - Requisitos de projeto das uniões A e B.....	157
Tabela 6.2 - Requisitos de projeto da união C.....	158
Tabela 6.3 - Aplicação da matriz decisão para as uniões A e B.....	162
Tabela 6.4 - Aplicação da matriz decisão para a união C.....	163

**LISTA DE SIGLAS**

<b>ABIPLAST</b>	Associação Brasileira da Indústria do Plástico
<b>ABS</b>	Acrilonitrila butadieno estireno
<b>ASA</b>	Acrilonitrila estireno acrilato
<b>CAD</b>	Computer Aided Design
<b>CIMJECT</b>	Centro de Informações em Manufatura Integrada por Computador, para Componentes de Plástico Injetado
<b>EVA</b>	Etileno vinil acetato
<b>FAST</b>	Functional Analysis System Technique
<b>GE</b>	General Electric
<b>NEDIP</b>	Núcleo de Desenvolvimento Integrado de Produtos
<b>PA</b>	Poliamida
<b>PAT</b>	Núcleo de Desenvolvimento de Processos e Produtos de Alta Tecnologia
<b>PBT</b>	Polibutileno tereftalato
<b>PC</b>	Policarbonato
<b>PE</b>	Polietileno
<b>PEAD</b>	Polietileno de alta densidade
<b>PEI</b>	Polieteremida
<b>PEEK</b>	Polieterectona
<b>PET</b>	Polietileno tereftalato
<b>PMMA</b>	Polimetilmetacrilato
<b>POM</b>	Polioximetileno
<b>PP</b>	Polipropileno
<b>PPO</b>	Polifenileno óxido
<b>PS</b>	Poliestireno
<b>PTFE</b>	Politetrafluoretileno
<b>PVC</b>	Policloreto de vinila
<b>QFD</b>	Quality Function Deployment
<b>SAN</b>	Estireno acrilonitrila
<b>Tg</b>	Temperatura de transição vítrea

## RESUMO

Neste trabalho é apresentada uma proposta de sistemática para seleção de princípios de uniões de componentes de plástico injetado. Existe uma grande diversidade de princípios de uniões disponíveis no mercado, incluindo-se as obtidas por meio de dobradiças, engates integrais, interferência, parafusos, insertos, rebites, por soldagem, adesivos e solventes, apresentando peculiaridades específicas de uso.

O principal motivador deste trabalho residiu na ausência de uma sistemática para seleção de princípios de uniões de componentes de plástico injetado. Na realidade existem somente indicativos isolados e o processo de decisão é tomado sem uma adequada análise integrada de informações. Este problema acentua-se quando são analisadas situações específicas e ocorrem interações entre as variáveis envolvidas.

Realizou-se uma revisão crítica à cerca de metodologias de projeto e uma avaliação geral do domínio de produtos de plástico injetado. Foram descritos e caracterizados os principais princípios de uniões de componentes de plástico injetado e analisadas as diversas classificações atualmente propostas e os critérios envolvidos. A partir desta base de dados foi estruturada uma sistemática voltada à seleção de princípios de uniões de componentes em relação às demandas de uso.

Ao final é apresentada, através de um estudo de caso voltado a sistemas portáteis de irrigação por aspersão convencional, uma aplicação da sistemática para seleção dos princípios de uniões para um engate sela e avaliada a funcionalidade do sistema.

## ABSTRACT

In this work a systematic approach is presented for selecting types of junctions for injected molded plastic components. A great diversity of types of junctions exists in the market, including snap fits, interference fits, screws, inserts, rivets, welding techniques, adhesive and solvent holdings, presenting specific peculiarities of use.

The absence of a systematic approach for selecting types of junctions of injected plastic components was the main motivation for this study. In reality only isolated indicatives are found in the literature and the decision process occurs without an adequate analysis of the integrated information available. This problem is specially important when interactions exist among the variables involved.

An extensive review of the methodologies for defining projects including an overview of the injected molded plastic products available in the market was performed. The main assembly techniques for injected plastic components are described and characterized the products. Considerations are also presented associated to product classification alternatives. From this knowledge basis a systematic proposal is presented for selecting suitable alternatives adjusted to user specifications.

The performance of the systematic proposal is presented and validated considering a case study applied for conventional portable sprinkling irrigation systems, directing the decision process for the selection of best alternatives of types of junctions (“engate sela”).

## **CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO**

### **1.1 - Generalidades e contextualização da dissertação**

Segundo BACK (1998), no atual cenário mundial, as empresas, devido à alta competitividade do mercado, necessitam desenvolver produtos otimizando fatores como tempo, o custo e a qualidade. Reduções no tempo viabilizam uma maior disputa de mercado onde o ciclo de vida dos produtos é cada vez menor. O custo, no desenvolvimento e na oferta do produto, pode colocar em risco o negócio e a aceitabilidade pela clientela. O crescimento tecnológico tem implicado num maior volume de problemas técnicos complexos e na necessidade de interação entre diferentes áreas do conhecimento, demandando maior atuação de equipes multidisciplinares, organização e comunicação. A qualidade, num sentido mais amplo, tem sido nos tempos atuais, determinante do sucesso de muitos empreendimentos. A baixa qualidade, no âmbito do consumidor, dificilmente será tolerada, e, além disso, provoca insatisfação que se propaga pelo mercado consumidor e, provavelmente, resultando no fracasso de um produto.

Para que o desenvolvimento de produtos seja bem sucedido, o processo de projeto precisa ser planejado cuidadosamente e executado sistematicamente. Portanto, é imprescindível a utilização de um procedimento sistemático, capaz de integrar e otimizar os diferentes aspectos envolvidos, adequando-se a várias tecnologias e possibilitando a interação entre o pessoal envolvido, de modo que o processo todo seja lógico e compreensível (BACK, 1998).

Ainda conforme BACK (1998), a utilização de um procedimento sistemático, associado à experiência e à habilidade, tende a aumentar a capacidade de trabalho e também contribuir para o desenvolvimento das capacidades do pessoal envolvido. O desenvolvimento sistemático de produtos possibilita também uma racionalização de recursos disponíveis tanto no setor de desenvolvimento, quanto no de construção. Um procedimento fundamentado em passos e etapas definidas permite fixar um cronograma realístico. Também é importante ressaltar que a delegação de tarefas se torna mais fácil quando estas estão inseridas num procedimento metodológico.

Produtos, em geral, normalmente são constituídos por um conjunto de componentes. Para que o produto desempenhe suas funções, esses componentes precisam ser conectados entre si. A conexão entre esses componentes ocorre nas interfaces, ou seja, nessas interfaces são criadas e desenvolvidas as uniões de componentes. Existe uma infinidade de princípios de uniões usuais de componentes de plástico moldados por injeção, as quais podem ser obtidas por meio de

dobradiças, interferência, engates integrais, parafusos, rebites, insertos rosqueados, processos de soldagem, adesivos e solventes.

A seleção e o projeto das uniões de componentes de plástico injetado é um processo de tomada de decisões que envolve a análise criteriosa e integrada de aspectos tais como: informações relativas ao processo de fabricação dos componentes; informações relativas à geometria e materiais dos componentes e uniões existentes; informações relativas às condições de uso a que o produto estará submetido; recomendações de projeto de componentes e uniões de componentes; e informações relacionados ao projeto e fabricação de moldes.

Todas essas informações devem ser analisadas de modo integrado, segundo os princípios de engenharia simultânea, obtendo-se assim a maximização de benefícios técnicos do produto para o consumidor, minimização de custos e redução de tempo de projeto.

Neste trabalho será proposta uma sistemática para seleção de princípios de uniões de componentes de plástico injetado. Primeiramente serão definidos os objetivos e contribuições esperadas deste trabalho bem como as justificativas que fomentarão a realização desta dissertação de mestrado. Na sequência será feita uma revisão bibliográfica que consiste das seguintes etapas: metodologias de projeto de produtos e processo de projeto; caracterização do ambiente de desenvolvimento de produtos de plástico injetado; levantamento das classificações e princípios de uniões de componentes de plástico injetado. Na sequência, será desenvolvida a sistemática para seleção de princípios de uniões de componentes de plástico injetado. Com o objetivo de validar a sistemática, será desenvolvido um estudo de caso específico.

## **1.2 - Objetivos e contribuições**

A presente dissertação tem por objetivo sistematizar o processo de seleção de princípios de uniões de componentes de plástico injetado. Para que seja desenvolvida, de modo integrado, existe a necessidade de reunir um conjunto de informações essenciais para a atividade de projeto. Incluem informações relativas aos diferentes tipos de materiais, às condições de uso a que o produto estará submetido, a respeito dos diferentes tipos de esforços mecânicos atuantes sobre a união, aspectos estéticos, etc.

Essas informações serão analisadas e posteriormente utilizadas com o intuito de desenvolver a sistemática proposta. Essas informações serão a base do processo de tomada de decisão para a seleção de princípios de uniões de componentes de plástico injetado.

Sabe-se que o conjunto dessas informações é de grande volume, pois existem muitas variáveis envolvidas. Porém, não há uma análise integrada dessas informações, de modo a gerar e organizar conhecimento para tomadas de decisão específicas em projeto, principalmente quando ocorrem dependências entre as variáveis específicas envolvidas.

Na realidade, ocorre que, para a seleção de princípios de uniões de dois ou mais componentes, existem somente indicativos isolados e geralmente não há uma análise integrada entre estas recomendações. Entre as recomendações isoladas incluem-se: definição da necessidade ou não de manutenção ou reparo dos componentes, do não uso de uniões soldadas, as quais são permanentes, por exemplo.

Nota-se que estas informações, na maioria das vezes isoladas, são colocadas de forma independente entre si, de difícil utilização para tomada de decisão. Não há, em termos gerais, conhecimento da integração entre essas informações e pouco se conhece por exemplo, sobre a interação e o conseqüente impacto de uma informação sobre outra. O conhecimento a respeito dessas interações e influências é de suma importância para o processo de tomada de decisão. Existe, portanto, a necessidade de identificar, analisar e resolver problemas de engenharia relacionados a estas interações.

A principal contribuição deste trabalho corresponde à sistematização do conhecimento relativo ao processo de seleção de princípios de uniões de componentes de plástico injetado. A sistematização possibilitará também a realização do projeto de maneira integrada, segundo os princípios de Engenharia Simultânea. Assim, como conseqüência deste trabalho, serão geradas informações e critérios a serem usados na tomada de decisões em projeto de componentes; redução do tempo de projeto dos componentes; redução dos custos de desenvolvimento dos componentes; redução dos custos de fabricação do molde e maior agregação de valor percebido pelo cliente no produto final.

Este trabalho de dissertação terá também como conseqüência a integração entre o NEDIP (Núcleo de Desenvolvimento Integrado de Produtos) e CIMJECT (Centro de informações em Manufatura Integrada por Computador, para Componentes de Plástico Injetado) do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina. Esta integração e a presente pesquisa estão entre os objetivos do Projeto PRONEX desenvolvido pelo PAT (Núcleo de Desenvolvimento de Processos e Produtos de Alta Tecnologia).

### 1.3 - Justificativas

As atuais metodologias de projeto, não contemplam, a contento, o projeto das interfaces e das uniões entre os componentes de um produto. As informações a respeito do projeto conceitual dessas interfaces são limitadas. E o que existe sobre projeto de componentes, encontra-se nas etapas de projeto preliminar e detalhado do produto. Há uma profusão de regras e recomendações de projeto, sendo, porém, isoladas ou independentes. Essas regras e recomendações, resultam, em geral, das experiências de profissionais do ramo, e foram criadas sem levar em conta as interações existentes. Pouco se conhece sobre o impacto de uma regra ou recomendação de projeto sobre outra. As informações são desencontradas e não existe uma análise integrada dessas regras e recomendações de projeto, de modo a gerar conhecimento lapidado para uma segura tomada de decisões em projeto.

Assim, o principal motivador deste trabalho, reside na ausência de uma sistemática para seleção de princípios de uniões de componentes de plástico injetado.

Segundo PIZZATO (1998), existem poucas informações e recomendações de como proceder com o projeto das interfaces e uniões de componentes.

Quanto à decisão de desenvolver um trabalho de dissertação aplicado ao domínio dos plásticos moldados por injeção, vários motivos justificaram a escolha desse domínio. Em primeiro lugar é importante frisar que o consumo de produtos de plástico, nas mais diversas áreas da sociedade moderna, tem tido um considerável crescimento. Isto pode ser facilmente constatado observando-se a parcela deste material que está presente nos diversos produtos que hoje se encontram disponíveis no mercado. Em termos de Brasil, o consumo desta matéria-prima situa-se em torno de 1,8 milhão de toneladas ao ano, tornando o Brasil o maior produtor do hemisfério sul de poliolefinas (polietileno, polipropileno), com cerca de 6.000 empresas de transformação (ABIPLAST, 2000).

Dentre os processos de transformação de plásticos, o processo de moldagem por injeção se destaca como um dos mais utilizados pela indústria mundial, chegando a representar cerca de 49 % do total de peças produzidas anualmente pelas empresas de transformação por injeção no Brasil (em torno de 2800 empresas), conforme resultados apresentados pela ABIPLAST (2000).

A moldagem por injeção é um dos processos de fabricação de componentes mais versáteis, motivo pelo qual vem crescendo de importância e em escala de produção. Encontra aplicações em vários setores, tais como na indústria eletrônica, mecânica, química, entretenimento, médica, automobilística e militar.

A moldagem por injeção possibilita que os componentes fabricados sejam, na maioria das vezes, isentos de operações pós-processo, sendo essa uma das características mais importantes. Os componentes injetados podem possuir geometrias variadas, sendo que essas formas são limitadas pelo molde de injeção, devido à sua complexidade e custo. Os componentes podem possuir desde geometrias simples (cilindros, esferas, paralelepípedos) até geometrias complexas (lanternas de automóveis, pára-choques, painel de automóvel).

Outra característica importante da moldagem por injeção reside na possibilidade do processo agregar funções de componentes diferenciados em apenas um componente. Aumenta-se, conseqüentemente, a complexidade de forma, porém com redução do tempo de montagem, manutenção e de fabricação.

#### **1.4 - Conteúdo da dissertação**

O conteúdo da presente dissertação encontra-se estruturado em sete capítulos, conforme a descrição a seguir.

No CAPÍTULO 1 é delineado o escopo do trabalho. Inicia-se a partir de uma breve contextualização da dissertação. Na seqüência, são destacados os objetivos da dissertação. Ao final, são apresentadas as justificativas gerais para a realização da dissertação e as contribuições oferecidas ao estado da arte.

No CAPÍTULO 2, apresenta-se uma revisão crítica a cerca de metodologias gerais de projeto. Conduz-se, inicialmente, a uma análise e comparação de modelos clássicos de metodologias de projeto. Conclui-se, a partir daí, que as metodologias de projeto, sob o enfoque procedural, são similares. Verificou-se que as metodologias clássicas de projeto fornecem poucas informações a respeito de como proceder com o projeto de componentes, suas interfaces e uniões. Além disso, reforça-se a constatação da inexistência de uma sistemática para seleção de princípios de uniões de componentes. Como fundamentação, é ressaltada a etapa de projeto de produtos da metodologia de ULLMAN (1992), com destaque ao projeto de componentes. A metodologia de ULLMAN (1992) consiste na base da sistemática para seleção de princípios de uniões de componentes de plástico injetado, pois apresenta a melhor abordagem a respeito do projeto dos componentes e suas interfaces.

No CAPÍTULO 3, realiza-se uma avaliação geral do domínio de produtos de plástico injetado, no qual será aplicada a sistemática proposta neste trabalho. Assim, visa-se obter subsídios para a sistematização da seleção de princípios de uniões de componentes de plástico

injetado. Começa-se com uma análise das principais abordagens que vêm sendo desenvolvidas para o projeto de produtos de plástico injetado. Verifica-se que grande parte das abordagens estão voltadas, em geral, para a avaliação ou reprojeto da geometria de componentes de plástico, sob as restrições da manufatura. Além disso, estas abordagens trazem poucas informações a respeito de como proceder com o projeto dos componentes, suas interfaces e uniões. Ressalta-se, no trabalho, a ausência de uma sistemática para seleção de princípios de uniões de componentes de plástico injetado.

No CAPÍTULO 4, complementa-se a revisão bibliográfica. São apresentadas as diferentes classificações dos princípios de uniões de componentes e o levantamento e caracterização dos princípios de uniões de componentes de plástico injetado. Finalizando o capítulo, é proposto um novo sistema de classificação para os princípios de uniões de componentes, o qual é aplicado para as uniões de componentes de plástico injetado.

No CAPÍTULO 5, desenvolve-se a sistemática proposta para a seleção de princípios de uniões de componentes de plástico injetado.

No CAPÍTULO 6, apresenta-se um estudo de caso, onde a sistemática desenvolvida para a seleção de princípios de uniões de componentes de plástico injetado é aplicada. Esta é empregada para selecionar os princípios de uniões para um engate sela, o qual destina-se à aplicação em sistemas portáteis de irrigação por aspersão convencional. Constitui-se na aplicação prática dos resultados da presente dissertação, com o propósito de avaliar as potencialidades da sistemática proposta.

No CAPÍTULO 7, são apresentadas as conclusões da dissertação, uma síntese dos resultados, as contribuições alcançadas, e algumas proposições para futuros estudos e novos desenvolvimentos.

A bibliografia consultada e referenciada é descrita na forma de REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

## **CAPÍTULO 2 - REVISÃO CRÍTICA DE METODOLOGIAS DE PROJETO**

### **2.1 - Introdução**

Este capítulo apresenta, em primeiro lugar, uma visão geral das metodologias de projeto de produtos, destacando os principais enfoques de cada proponente. Prossegue com uma análise comparativa entre as metodologias de projeto, verificando que elas se apresentam similares em suas proposições.

A partir da análise das metodologias de projeto de produtos, constata-se que estas fornecem poucas informações a respeito de como proceder com o projeto dos componentes e suas interfaces/uniões. Verificou-se, também, a ausência de uma sistemática de projeto para a seleção de princípios de uniões de componentes.

### **2.2 - Metodologias de projeto**

No decorrer dos anos, várias sistemáticas do processo de projeto tem sido propostas e aperfeiçoadas, servindo de ferramenta básica aos projetistas.

Cada modelo de processo de projeto, consiste de uma seqüência de etapas, que vão desde a percepção da necessidade até uma descrição final da configuração do produto. Cada etapa é, por si só, um processo de projeto e é uma seqüência iterativa de etapas, sub-processos ou operações.

Conforme OGLIARI (1999), os modelos para o projeto sistemático de produtos são, em geral, do tipo procedurais, ou seja, orientam, passo-a-passo, a maneira de proceder dos projetistas na resolução de problemas de projeto. Estes modelos apresentam-se, em geral, na forma de fluxogramas das atividades de projeto, expressando “o que” os projetistas devem fazer para, desde a identificação do problema, chegarem à documentação final do produto. Alguns estudos de revisão da literatura mostram, de maneira mais ou menos detalhada, estas abordagens, analisando-as sob vários enfoques.

Segundo OGLIARI (1999), YOSHIKAWA (1989) investigou o estado-da-arte em filosofias ou teorias de projeto. Seus resultados estabelecem que as abordagens para o projeto sistemático de produtos podem ser categorizadas nas seguintes escolas de filosofias de projeto: semântica, sintática, historicista, psicológica e filosófica.

Na escola semântica, encontram-se as abordagens, cujos fundamentos admitem que qualquer máquina ou sistema técnico, como objeto de projeto, é um sistema que transforma grandezas de entrada em grandezas de saída, do tipo, material, energia e informação. Neste sentido, as diferenças entre as entradas e as saídas são chamadas de funcionalidades do produto e definem o caminho inicial para a solução do problema. Em outras palavras, a solução do projeto deve iniciar pelo estabelecimento da estrutura de funções do produto a qual deve ser resolvida pela associação de um ou mais fenômenos físicos a cada função, ou sub-função, relacionada. Esta filosofia representa, em grande parte, os fundamentos da chamada escola alemã de projeto de engenharia, onde incluem-se pesquisadores, tais como RODENACKER (1991), ROTH (1982), KOLLER (1985), PAHL & BEITZ (1996), entre outros.

Conforme OGLIARI (1999), na escola sintática inserem-se as abordagens que tratam mais sobre os aspectos procedurais ou morfológicos da atividade de projeto, ou seja, sobre os modelos para o processo de projeto. Neste caso, visando a generalidade na aplicação de metodologias de projeto, os aspectos lógicos ou temporais da metodologia são postos em evidência. Inclui-se, neste escopo, por exemplo, as proposições de ASIMOV (1968). Segundo esse autor, o projeto de engenharia compreende três elementos principais: um conjunto de princípios gerais, uma disciplina ou sistemática de projeto e um instrumento de crítica. Sob tais elementos estabelece-se a dinâmica do processo de projeto, sua lógica ou a seqüência de suas ações. Inicializam-se a partir dos conhecimentos oriundos da formação e da experiência do projetista, em conjunto com os dados sobre um projeto particular em questão. Estas informações são tratadas conforme a sistemática estabelecida, ou seja, de acordo com o plano procedural estabelecido para o projeto. Inclui, ao final de cada fase, um instrumento de avaliação, na forma de processos, que estabelecerão a continuidade ou não do projeto, a realimentação de informações, até a obtenção dos resultados desejados.

Segundo OGLIARI (1999), as filosofias semântica e sintática são complementares. A primeira estabelece as considerações sobre o objeto de projeto e a segunda, sobre o processo de projeto. Se aplicadas em conjunto, resulta numa metodologia de projeto que, além da lógica do processo de desenvolvimento, estabelece o significado da existência de determinado produto, no caso, à partir de suas funções. Esta complementaridade tem sido representada na metodologia de projeto de PAHL & BEITZ (1996).

As demais escolas de filosofias de projeto originaram-se, segundo YOSHIKAWA (1989), a partir de críticas de metodologias de projeto, existindo, por exemplo, contradição entre a universalidade de uma metodologia e sua aplicação prática. Neste caso, segundo a escola

historicista, as habilidades de projeto devem ser desenvolvidas a partir da história de casos em projeto, ou seja, de sua prática. As escolas psicológica e filosófica são reportadas como áreas aplicadas da psicologia e da filosofia, com respeito à psicologia da criatividade na engenharia e o estudo do processo de pensamento humano no projeto, respectivamente.

Dentre os aspectos comuns, nas abordagens de metodologias de projeto, encontra-se a divisão do projeto em etapas ou fases, procurando-se simplificar a abordagem do problema. Estas distribuem-se, em geral, do estudo ou a análise do mercado (identificação de necessidades), até a documentação final do produto.

Apesar de existirem diversas proposições de metodologias de projeto, verifica-se similaridade entre elas. Assim, considera-se, a seguir, a análise geral dos modelos de metodologia de projeto propostos pelos seguintes autores: PAHL & BEITZ (1996), BACK (1983), HUBKA & EDER (1996) e ULLMAN (1992). Essas metodologias constituem-se em abordagens clássicas para a condução da sistemática de projeto, apresentadas na forma de planos procedurais.

Segundo OGLIARI (1999), a metodologia desenvolvida por PAHL & BEITZ (1996) merece destaque especial, pois tem sido amplamente estudada e referenciada na literatura de projeto de engenharia. Em essência, esta metodologia representa a escola alemã de projeto de engenharia, na medida que incorpora a significação dos objetos de projeto, através de suas funcionalidades, representando princípios da escola semântica. Mas inclui, também, os aspectos morfológicos da escola sintática, através de sua lógica ou estrutura de procedimentos. Esta metodologia é configurada sob os fundamentos de sistemas técnicos e de abordagens sistemáticas para a solução de problemas. Sob os primeiros, os objetos de projeto, ou artefatos técnicos, em geral, são tratados como sistemas conectados ao ambiente por meio de entradas e saídas, na forma de energia, material e sinal. Sendo assim, a solução de um problema de projeto estabelece-se, em parte, pela definição de um sistema que reproduz os relacionamentos entre as entradas e saídas, os quais são denominados de funções do sistema técnico. As funções, assim, tornam-se a formulação abstrata do problema, independente de soluções particulares.

Sob os fundamentos de abordagens sistemáticas, estabelece-se a lógica ou a seqüência dos procedimentos na estrutura do processo de projeto. Isto ocorre, a partir de princípios da psicologia cognitiva e de metodologias gerais para a solução de problemas. Sob os primeiros, configuram-se, em parte, os próprios procedimentos do processo de projeto. Devem refletir, de alguma maneira, a estrutura lógica das operações mentais que ocorrem durante a solução de problemas (OGLIARI, 1999).

Nas proposições de PAHL & BEITZ (1996), o processo de projeto é considerado sob as seguintes fases principais: planejamento do produto e esclarecimento da tarefa de projeto; projeto conceitual; projeto preliminar e o projeto detalhado do produto.

A sistemática inicia-se com a fase de planejamento do produto e o esclarecimento da tarefa de projeto. Esta fase é conduzida a partir das informações oriundas da situação do mercado, das necessidades da própria empresa, de tendências da economia, entre outras fontes, e resulta na especificação das informações, na forma de uma lista de requisitos de projeto. Tipicamente, constitui-se num processo de transformação de informações de projeto.

No planejamento da tarefa de projeto, seja ela formal, realizada pelo departamento de marketing ou informal, conduzida pelos próprios projetistas, busca-se estabelecer as idéias iniciais para produtos e mercados promissores, num nível abstrato e preliminar. Já, os objetivos do esclarecimento da tarefa de projeto consistem em coletar as informações sobre quais requisitos deverão ser satisfeitos com o produto resultante e, também, sobre as restrições existentes ao seu desenvolvimento, e suas importâncias.

Segundo OGLIARI (1999), na fase de projeto conceitual da metodologia de PAHL & BEITZ (1996) são conduzidos vários processos, desde a listagem de requisitos, para o estabelecimento dos problemas essenciais de projeto, na forma de funções do produto, e o encontro das melhores soluções, a partir da resolução daquelas funções. Essa fase termina com o desenvolvimento das soluções conceituais e sua avaliação. Trata-se, em essência, da especificação de princípios de solução para o produto.

No projeto preliminar, o projetista inicia com a concepção selecionada e prossegue, sob vários processos, para transformá-la num leiaute definitivo do produto proposto, o qual deve satisfazer os requisitos técnicos e econômicos do projeto em questão. Esse leiaute representa a estrutura de construção do produto, ou seja, os tipos, as formas, o arranjo, as dimensões preliminares dos elementos construtivos do produto final, entre outros. Em síntese, trata-se da especificação do leiaute do produto (OGLIARI, 1999).

Finalmente, no projeto detalhado, os elementos construtivos e suas características são tornados definitivos. Especificam-se os materiais, os processos produtivos, e elabora-se a documentação final do produto. Trata-se, portanto, da especificação da produção do produto (OGLIARI, 1999).

Segundo OGLIARI (1999), a sistemática de projeto de BACK (1983) é estabelecida pelas seguintes fases principais: estudo da viabilidade, projeto preliminar, projeto detalhado, revisão e testes, planejamento da produção, planejamento do mercado, planejamento para consumo e

manutenção, e planejamento da obsolescência do produto. De particular interesse nesta análise, incluem-se as três primeiras fases do projeto.

No estudo da viabilidade, o objetivo é a elaboração de um conjunto de soluções úteis para os problemas de projeto, configurando-as na forma conceitual. Desenvolvem-se, nesta fase, processos como: análise de necessidades, síntese de soluções alternativas e análise de viabilidade técnica, econômica e financeira das soluções propostas. O estudo da viabilidade é análogo ao que se entende por projeto conceitual do produto.

O projeto preliminar, inicia-se a partir da elaboração de um conjunto de soluções úteis para o problema e termina com uma solução otimizada e simplificada para o produto. Desenvolvem-se, sob esse escopo, os seguintes processos principais: seleção da melhor solução, formulação de modelos de análise, análise de sensibilidade e compatibilidade das variáveis, otimização dos parâmetros de projeto, testes e previsão do sistema e simplificação do projeto. Trata-se, em síntese, do desenvolvimento inicial dos principais parâmetros de projeto, os quais configuram e caracterizam o produto final.

Por último, o projeto detalhado inicia-se com a implementação da solução otimizada e simplificada no projeto preliminar e termina com as descrições de engenharia de produto, tornando possível a sua realização física. São desenvolvidos, por exemplo, os seguintes processos principais: especificação de subsistemas e componentes, descrição das partes, desenhos de montagens, desenhos para a fabricação, entre outros.

As diversas abordagens de metodologia de projeto apresentam elementos similares, diferindo, em grande parte, na nomenclatura utilizada e no grau de detalhamento de seus elementos (OGLIARI, 1999).

Outras abordagens também poderão ser analisadas sob os enfoques anteriores e mostrarão, da mesma forma, a equivalência, em várias de suas fases de projeto. São as abordagens de HUBKA & EDER (1996) e ULLMAN (1992).

A sistemática de HUBKA & EDER (1996) apresenta as seguintes fases principais: a elaboração do problema atribuído, o projeto conceitual, o projeto preliminar e o detalhamento do produto.

A metodologia de projeto de produtos de ULLMAN (1992) apresenta as seguintes fases principais: o planejamento e o desenvolvimento de especificações, o projeto conceitual e o projeto do produto. Na fase de projeto do produto, merece destaque especial o projeto dos componentes do produto. Segundo o referido autor, o resultado da concepção do produto, que na realidade é a representação da forma em desenho da alternativa escolhida para o produto,

provavelmente contém representações dos componentes que constituem o produto. A partir deste momento é elaborado o projeto dos componentes deste produto. A forma do produto é decomposta nos seus componentes. Na sequência, são desenvolvidas e refinadas as interfaces e uniões entre esses componentes. Assim, o projeto dos componentes e de suas uniões é executado nas fases seqüentes ao projeto conceitual do produto, ou seja, nas etapas de projeto preliminar e detalhado do produto. A metodologia de ULLMAN (1992) será posteriormente descrita em maiores detalhes, com ênfase para a etapa de projeto do produto, pois consistirá na base da sistemática a ser proposta nesta dissertação.

A partir destas análises, verifica-se que os modelos procedurais para o projeto sistemático de produtos, apesar de suas especificidades, apresentam vários elementos em comum. Em grande parte, as diferenças residem na terminologia empregada e no número de atividades propostas.

Desse modo, sob o propósito do desenvolvimento de produtos, desde suas fases iniciais até a sua documentação, é possível estabelecer um modelo de consenso para o projeto sistemático de produtos, o qual está representado na Figura 2.1. Esse modelo de consenso representa de maneira abrangente, as proposições de metodologias de projeto procedurais.

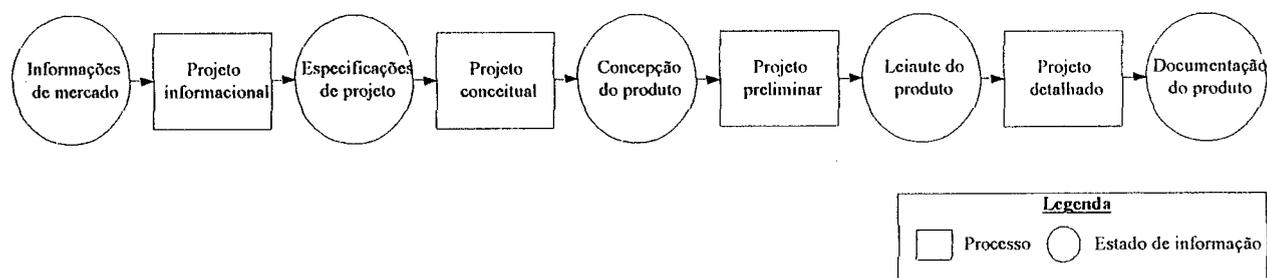


Figura 2.1 - Modelo de consenso para o projeto sistemático de produtos (OGLIARI, 1999).

Segundo OGLIARI (1999), neste modelo de consenso, o projeto de produtos inicia-se com as informações do mercado. Incluem-se os interesses ou as manifestações dos clientes de projeto, ou seja, daquelas organizações ou indivíduos que se relacionam, de modo direto ou indireto, com o projeto ou o produto. Estas informações, geralmente genéricas e qualitativas, são transformadas em especificações de projeto, ou seja, em requisitos quantificados, que estabelecem os principais problemas técnicos a serem resolvidos e as restrições de solução. Segundo FONSECA (1998), este processo de transformação é denominado de projeto informacional do produto.

Na fase de projeto conceitual do produto, obtém-se alternativas de princípios de solução de projeto após a aplicação do método da matriz morfológica. Com esse método ocorre a busca de princípios de solução alternativos para cada função parcial do produto, ou seja, busca-se formas ou princípios para resolver aquela função, de forma independente, sem se preocupar com as demais funções. Uma vez construída a matriz morfológica, procura-se estabelecer combinações, obtendo-se concepções alternativas para o problema global formulado. Os princípios de solução alternativos para cada função parcial do produto são, na realidade, as formas dos componentes unitários ou então subconjuntos que constituem o produto. Após obter os princípios de concepção de projeto para o produto, as concepções são avaliadas e a melhor alternativa é selecionada utilizando-se as matrizes de decisão multi-critério. Na seqüência, inicia a fase de projeto preliminar onde o projeto dos componentes é refinado.

Entretanto, no final do projeto conceitual resulta uma concepção para o produto desprovida de qualquer preocupação com relação às uniões dos componentes. Ou seja, as alternativas de princípios de solução de projeto para os componentes são combinadas na matriz morfológica sem qualquer preocupação com as uniões destes. As uniões podem ser obtidas por meio de parafusos, rebites, adesivos, processos de soldagem, etc.

Sobre a melhor concepção, desenvolvem-se processos para configurar o leiaute do produto. Esse leiaute, de natureza quantitativa, consiste no arranjo geral dos elementos que caracterizam o produto em suas principais geometrias e formas. Trata-se do projeto preliminar do produto.

Na etapa de projeto detalhado, desenvolvem-se processos para transformar o leiaute do produto em documentos que caracterizam detalhadamente as soluções desenvolvidas e que possibilitam a sua realização física. Trata-se da documentação final do produto.

É importante mencionar que as metodologias de projeto existentes, não contemplam a contento o projeto das interfaces e uniões entre os componentes de um produto. Segundo PIZZATO (1998), existem poucas informações e recomendações de como proceder com o projeto das interfaces e uniões de componentes.

Verifica-se a existência de uma grande lacuna na transição do projeto conceitual para o projeto preliminar de produtos. Isto ocorre em parte devido à ausência de uma sistemática para a seleção de princípios de uniões de componentes.

Não existe uma sistemática de projeto de uniões que defina o princípio mais adequado de união em função da análise integrada de um conjunto de parâmetros tais como geometria dos componentes, condições de serviço/ambiente, carregamentos mecânicos, facilidade de

montagem/desmontagem, materiais utilizados, etc. Na realidade, ocorre que, para a seleção do princípio de união de dois componentes, existem somente recomendações ou dicas isoladas, ou seja, não há uma análise integrada entre as interações existentes entre estas recomendações. São recomendações isoladas tais como: “se houver necessidade de manutenção ou de reparo dos componentes, não usar uniões soldadas, as quais são permanentes”.

Alguns autores analisam os princípios de uniões em relação a alguns aspectos importantes de projeto. ENDEBROCK (1997) analisa os princípios de uniões quanto à reciclabilidade e facilidade de manutenção. BEITZ (1993) classifica e analisa os princípios de uniões quanto à facilidade de desmontagem, quanto à reciclabilidade e à capacidade de carga. SEEGER (1993) analisa os princípios de uniões quanto à facilidade de separação dos componentes.

### **2.3 - Metodologia de projeto de produtos de ULLMAN (1992)**

A metodologia de projeto de produtos de ULLMAN (1992) é constituída por três etapas principais: (1) planejamento e desenvolvimento de especificações; (2) projeto conceitual; e (3) projeto do produto.

Ao final da etapa de projeto conceitual resultam concepções para o produto, as quais são na realidade representações dos conceitos ou formas dos componentes do produto.

Após a escolha do melhor conceito ou concepção, começa a terceira etapa: projeto do produto. Na etapa de projeto do produto, o conceito selecionado será transformado no produto final. Ou seja, nesta etapa ocorre o refinamento do produto a nível de projeto dos componentes. Durante este refinamento ocorre o desenvolvimento simultâneo do produto e do sistema de produção que será utilizado para manufaturá-lo. A concepção escolhida não fornece detalhes a respeito da forma final do produto. À medida que a forma evolui, são tomadas as decisões sobre os materiais e os processos de fabricação a serem empregados para a obtenção do produto final.

A seguir, será descrita mais detalhadamente a etapa de projeto do produto.

#### **2.3.1 - Etapa de projeto do produto**

A etapa de projeto do produto consiste de 9 fases, sendo representada na Figura 2.2. A técnica é baseada na utilização do conhecimento funcional da concepção para gerar as formas. A

geração é feita pelo conhecimento das restrições espaciais, propriedades e disponibilidade dos materiais, e capacidades e limitações de produção.

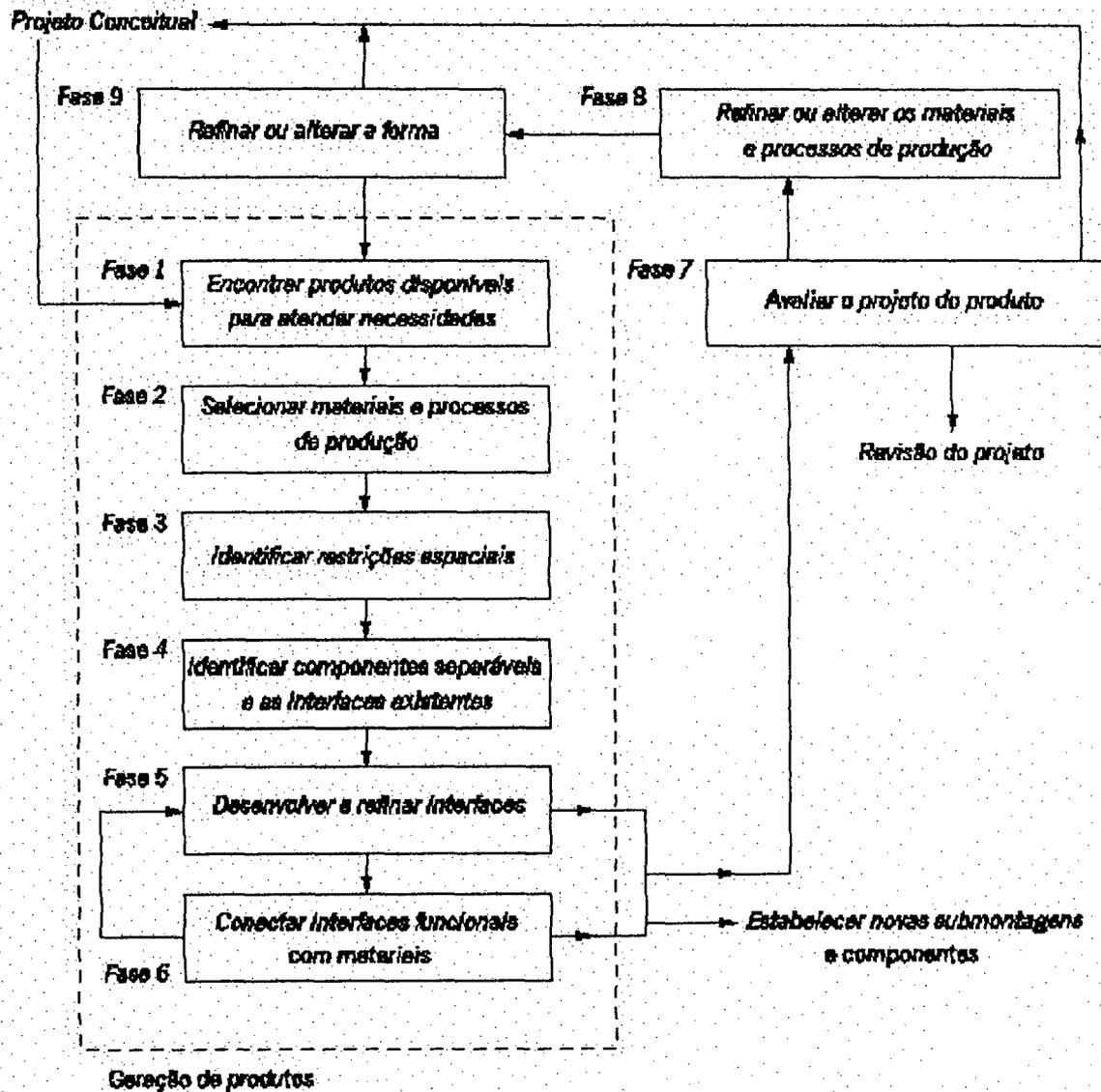


Figura 2.2 - Etapa de projeto do produto da metodologia de ULLMAN (1992).

As fases da etapa de projeto do produto são as seguintes:

- **FASE 1: Encontrar produtos disponíveis para atender necessidades.**

Ao iniciar o projeto dos componentes básicos constituintes de um produto, deve-se verificar se esses componentes estão prontamente disponíveis no mercado. Os projetistas mecânicos raramente projetam componentes mecânicos básicos para cada novo produto, visto que estes componentes estão prontamente disponíveis no mercado.

Assim, quando componentes mecânicos básicos tais como parafusos e engrenagens são exigidos em um produto, estes devem ser preferencialmente adquiridos de um fornecedor

especializado na sua fabricação. Isto justifica-se devido ao fato de que os fornecedores especializados detêm todo um conhecimento a respeito do projeto e manufatura destes componentes básicos. Além disso, estes fornecedores conseguem produzir os componentes a um custo mais baixo.

Se o produto exato não estiver disponível no mercado, a maioria dos fornecedores poderá desenvolver produtos ou componentes que atendam aos requisitos de projeto e que sejam similares aos já existentes.

- **FASE 2: Selecionar materiais e processos de produção.**

Nesta fase são selecionados os materiais e processos de produção empregados para a obtenção dos componentes. Os processos de produção englobam os processos de manufatura e os processos de montagem. Antes de refinar a concepção ou conceito, é importante identificar os materiais e técnicas de produção, e estar a par dos requisitos específicos de engenharia: requisitos sobre materiais, fabricação, e montagem. Pode parecer prematuro considerar estes tópicos agora, mas mesmo sobre bases abstratas, eles influenciam as decisões iniciais sobre a forma dos componentes e montagens.

Em primeiro lugar, a quantidade de produto a ser fabricado influencia consideravelmente a seleção dos processos de manufatura a serem utilizados. No caso dos componentes plásticos moldados por injeção, o custo do molde determina quase que totalmente o custo do componente injetado. Desse modo, em geral, a moldagem por injeção é rentável somente para um volume de produção superior a pelo menos 25.000 unidades (ULLMAN, 1992).

A segunda maior influência sobre a seleção de um material e de um processo de manufatura é o conhecimento daquilo que foi usado para aplicações similares. Assim, ao estudar os dispositivos mecânicos existentes, deve-se identificar quais tipos de materiais e processos de fabricação foram usados para aqueles tipos de funções.

A terceira influência sobre a seleção dos materiais e processos de manufatura é o conhecimento e a experiência. Conhecimentos e experiências limitados restringem as opções. Se somente recursos disponíveis podem ser utilizados, então os materiais e processos são limitados por estas capacidades. Entretanto, o conhecimento pode ser ampliado mediante a inclusão de outros profissionais na equipe de projeto, os quais tenham mais conhecimento dos materiais e processos de manufatura, aumentando por conseguinte o número de alternativas disponíveis.

Durante a fase de projeto conceitual, são identificados os requisitos de propriedades dos materiais. Estes requisitos restringem a escolha dos materiais e processos. Por exemplo, se o

produto tem que operar no espaço, o material escolhido deve estar apto a manter suas propriedades no vácuo e em uma temperatura próxima ao zero absoluto.

- **FASE 3: Identificar restrições espaciais.**

Uma categoria de requisitos dos clientes é a das restrições espaciais sobre o produto. Estas restrições dão os limites para as formas que podem ser desenvolvidas. As restrições sobre as montagens e componentes tornam-se mais refinadas à medida que o produto evolui. Se, por exemplo, dois componentes em um produto precisam ser fixados juntos, decisões de projeto sobre um componente atuam como restrições sobre o outro.

As restrições espaciais são a base para os desenhos do layout, cujo principal propósito é delimitar as dimensões desenvolvidas no produto total. Uma boa abordagem é começar o desenho do layout com as restrições espaciais externas conhecidas, aquelas nas interfaces com os corpos externos ao objeto que está sendo desenhado. Isto definirá o envelope no qual a forma pode evoluir.

- **FASE 4: Identificar componentes separáveis e as interfaces existentes.**

A concepção escolhida ao final da etapa de projeto conceitual provavelmente contém representações dos componentes individuais. Nesta fase ocorre a decomposição das formas da concepção em componentes separáveis.

Com base nesta decomposição, são identificadas as interfaces a serem projetadas, tanto as interfaces com o meio externo bem como as interfaces entre componentes. As interfaces podem ser de dois tipos: externas e internas. Interface externa é aquela existente entre o componente e o meio externo. Interface interna é aquela existente entre dois componentes adjacentes.

- **FASE 5: Desenvolver e refinar interfaces.**

Esta é uma fase chave quando se desenvolve e aperfeiçoa uma concepção, pois faz uso direto das funções identificadas durante o projeto conceitual.

Desse modo, a meta desta fase na geração do produto é desenvolver e refinar as interfaces, começando com as interfaces externas, e seguindo numa ordem de importância decrescente das interfaces.

Previamente ao desenvolvimento de qualquer concepção para uma união ou junta, é estabelecida a função desta união, utilizando-se para tanto o método da síntese funcional. Esta fase da metodologia pode forçar decomposições que resultam em novas funções ou pode

encorajar o refinamento da estrutura funcional. À medida que as interfaces são refinadas, novos componentes e montagens podem surgir, assim como podem também ser eliminados ou simplificados.

O problema da geração das interfaces entre componentes pode ser tratado como um novo problema de projeto, utilizando-se para tanto, as técnicas e ferramentas desenvolvidas para o projeto conceitual de produtos. Para gerar alternativas conceituais para cada uma das interfaces existentes, pode ser empregado o método da matriz morfológica.

Para auxiliar na geração de alternativas conceituais para cada uma das interfaces bem como para o refino destas, pode-se analisar os princípios de uniões usados em produtos similares assim como analisar e verificar as patentes de produtos similares.

Para esta fase da metodologia, o autor propõe algumas recomendações a serem seguidas para a execução do projeto das interfaces.

- **FASE 6: Conectar interfaces funcionais com materiais.**

Estima-se que menos do que 20% das dimensões na maioria dos componentes em um dispositivo são críticas para a performance deste. Isto é devido ao fato de que a maioria do material em um componente está lá para conectar as interfaces funcionais e portanto não é dimensionalmente crítico. Uma vez que as interfaces funcionais tenham sido determinadas, projetar o corpo do componente torna-se meramente um sofisticado problema de conectar os pontos.

Nesta fase da metodologia, o autor propõe uma série de regras e recomendações para o desenvolvimento das formas dos componentes.

- **FASE 7: Avaliar o projeto do produto.**

Durante o projeto conceitual, os métodos de avaliação são grosseiros porque as concepções são abstratas. Entretanto, à medida que as concepções são refinadas, técnicas de avaliação mais refinadas estão disponíveis. Nesta avaliação realiza-se a comparação do projeto do produto com os requisitos alvo de engenharia.

Se o processo de projeto alcançou um ponto onde os resultados devem ser relatados, então deve-se proceder a uma revisão do projeto. Se a avaliação concluir que as concepções atuais não estão conduzindo a um produto de qualidade, então o processo precisa retornar para a etapa de projeto conceitual para melhorar o entendimento ou desenvolver novas concepções. Na

outra situação, os resultados da avaliação podem indicar que o projeto do produto está pronto para seguir para a próxima fase.

- **FASE 8: Refinar ou alterar os materiais e processos de produção.**

No projeto simultâneo, os materiais e processos de produção selecionados devem evoluir à medida que a forma do produto evolui. À medida que o produto é desenvolvido, seu leiaute, detalhes, materiais, e processos de produção são refinados, ou seja, tornam-se cada vez menos abstratos. Porém, ao mesmo tempo que um produto é refinado, às vezes alterações são feitas no produto.

Assim, nesta fase da metodologia de projeto, os materiais e processos de produção são refinados e/ou alterados.

- **FASE 9: Refinar ou alterar a forma.**

Os resultados dos esforços para refinar ou alterar qualquer aspecto do produto podem conduzir a duas direções. Na primeira situação, que corresponde a maioria das vezes, o refinamento ou alteração é parte da cadeia de geração/avaliação no projeto do produto. Após cada refinamento ou alteração efetuada, uma boa prática é pelo menos refletir sobre as primeiras 6 etapas do projeto do produto antes de uma reavaliação. Na outra direção, o resultado dos esforços de refinamento ou de alteração requer às vezes um retorno para as fases iniciais da etapa de projeto conceitual.

## **2.4 - Sistemas técnicos**

Conforme ASHBY (1992), sistemas técnicos consistem de um conjunto de componentes que são montados, de maneira a desempenhar uma função global. Um sistema técnico pode ser considerado como um conversor de fluxo de energia, material e informação (sinal), os quais entram e saem do sistema. Por exemplo, um motor elétrico converte energia elétrica em energia mecânica.

Nesta abordagem, o sistema é desdobrado em subsistemas conectados, os quais desempenham funções básicas, constituindo a estrutura de funções do sistema. Os subsistemas são na realidade componentes, que interagem entre si. A interação entre os componentes de um sistema técnico ocorre nas interfaces entre os componentes. Essas interfaces correspondem às

regiões de contato entre os componentes, onde ocorre o fluxo de energia, material e sinal, ou seja, nas interfaces entre os componentes são desempenhadas as funções do sistema.

Neste contexto, é fundamental introduzir-se o conceito básico de produto. Um produto pode ser constituído por um conjunto de componentes (faca com cabo de madeira), ou constituído apenas por um componente (faca de plástico descartável). Os dois exemplos de produtos, na realidade são sistemas técnicos, independentemente do número de componentes existentes, pois ambos são conversores de um fluxo de energia que entra e sai do sistema, possibilitando assim, a realização da função global do sistema técnico.

Os componentes são montados de modo a formar o sistema ou produto que desempenha a função pré-determinada. Conforme DONG (1991), existem superfícies entre os componentes, relacionadas com as funções desempenhadas. Estas superfícies são chamadas de superfícies funcionais. As superfícies funcionais são necessárias para a realização da função do sistema bem como para formar conexões com outros componentes. Outras são somente usadas para conectar superfícies funcionais. Estas são chamadas de superfícies de conexão. Outras superfícies são livres.

Segundo DONG (1991), as conexões ou uniões de componentes ocorrem através de superfícies funcionais. Há também superfícies que são necessárias para a realização da função mas sem nenhuma conexão com outras superfícies, tais como a superfície de um container. Estas também são superfícies funcionais.

## **2.5 - Métodos para avaliação e tomada de decisão em projeto**

Existem diversos métodos de auxílio para avaliação e tomada de decisão quanto a seleção da melhor solução de projeto. Segundo BACK (1998), o termo seleção implica nas ações de valoração, comparação e tomada de decisão. Como estas ações são fortemente interrelacionadas, para se obter o maior número de informações para a tomada de decisão, as soluções de projeto devem ser valoradas de forma compreensiva, englobando um grande espectro de objetivos, e também serem expressas na mesma linguagem e no mesmo nível de abstração.

Conforme BACK (1998), existem dois tipos possíveis de comparação: *absoluta e relativa*. Na comparação absoluta, cada solução de projeto é diretamente comparada com algum tipo de informação, experiência, conhecimento e alguns requisitos. O segundo tipo é caracterizado pela comparação das soluções de projeto entre si.

Segundo ROOSENBERG (1995), os métodos para avaliação e tomada de decisão são classificados em dois tipos básicos: qualitativos e quantitativos. Métodos qualitativos são aqueles onde os critérios de comparação das alternativas devem ser qualitativos. Conforme ROOSENBERG (1995), os métodos qualitativos são os seguintes: regra de Copeland, regra lexicográfica, regra do grau-soma, regra da maioria, método de Pugh e perfil de produtos novos. Dentre estes, merece destaque especial o método de PUGH (1991), o qual é amplamente referenciado na literatura de projeto.

Segundo BACK (1998), o método de PUGH (1991), além de simples, tem se mostrado bastante eficiente para a comparação de soluções conceituais de projeto que não tenham sido suficientemente detalhados, utilizando-se para tanto das necessidades dos clientes como critérios de comparação. Ainda conforme BACK (1998), dependendo do nível de informação e conhecimento acerca do problema de projeto, pode-se obter ainda na fase de projeto conceitual concepções com um nível razoável de detalhamento, e assim a matriz de avaliação de PUGH (1991) pode ser montada utilizando-se como critérios para a comparação os requisitos de projeto. Nesta avaliação pode-se utilizar simultaneamente critérios quantitativos e qualitativos (BACK, 1998).

Outro método bastante conhecido para tomada de decisão em projeto é proposto por ULLMAN (1992). Consiste em uma sequência de 4 etapas: (1) julgamento da viabilidade; (2) disponibilidade tecnológica; (3) exame passa/não passa; (4) matriz de avaliação. Na etapa 1 é avaliada a viabilidade da solução conceitual de projeto. Na segunda etapa é verificada a disponibilidade tecnológica que pode ser utilizada no conceito de solução. Segundo BACK (1998), o objetivo desta técnica de avaliação é forçar uma comparação absoluta com as capacidades do atual estado da arte. Se uma determinada tecnologia deverá ser utilizada no projeto de um produto, esta deve estar suficientemente amadurecida de modo a ser efetivamente utilizada no projeto. Na terceira etapa cada conceito deve comparado com as necessidades de maneira absoluta. Ou seja, cada necessidade deve ser transformada numa questão endereçada á cada conceito. Estas questões deverão ser respondidas por sim ou possivelmente (passa), ou não (não passa). E finalmente na quarta etapa é aplicada a matriz de avaliação de PUGH (1991).

## **2.6 - Considerações finais**

Nesta revisão bibliográfica foram revistas as principais proposições de metodologias de projeto de produtos. Verificou-se que as diversas proposições, apesar de suas especificidades,

apresentam elementos similares. Existe muita similaridade entre elas e as diferenças encontradas ocorrem normalmente na terminologia empregada pelos autores e no detalhamento dos processos de projeto. Assim, é possível estabelecer um modelo de consenso para o projeto sistemático de produtos, o qual representa, de maneira abrangente, as proposições de metodologias de projeto procedurais.

A análise das atuais metodologias de projeto de produtos também demonstrou que estas fornecem poucas informações a respeito de como proceder com o projeto dos componentes e suas interfaces/uniões. Além disso, detectou-se uma grande lacuna no processo de projeto: a ausência de uma sistemática para a seleção de princípios de uniões de componentes, tornando-se a principal justificativa para a realização deste trabalho de dissertação.

No próximo capítulo, será desenvolvida a segunda etapa do levantamento bibliográfico, onde será realizada uma caracterização do ambiente de desenvolvimento de produtos de plástico injetado. Este tópico compreende a descrição e a análise do atual processo de desenvolvimento de produtos injetados e os elementos envolvidos. Na seqüência, as metodologias de projeto de produtos de plástico injetado são abordadas.

## **CAPÍTULO 3 - PROJETO DE PRODUTOS DE PLÁSTICO INJETADO: ESTADO DA ARTE**

### **3.1 - Introdução**

No CAPÍTULO 2, verificou-se que as metodologias clássicas de projeto fornecem poucas informações a respeito de como proceder com o projeto dos componentes e suas interfaces/uniões. Além disso, constatou-se a inexistência de uma sistemática para seleção de princípios de uniões de componentes.

O presente capítulo, apresenta uma avaliação geral do domínio de produtos de plástico injetado, no qual será aplicada a sistemática proposta neste trabalho. Assim, visa-se obter subsídios para a sistematização do processo de seleção de princípios de uniões de componentes de plástico injetado. Inicia-se com uma análise das principais abordagens que vêm sendo desenvolvidas para o projeto de produtos de plástico injetado. Constata-se que a maioria das abordagens são voltadas, em geral, para a avaliação ou reprojeto da geometria do componente de plástico, sob as restrições da manufatura. Tais abordagens trazem poucas informações a respeito de como proceder com o projeto dos componentes e suas interfaces/uniões. Ressalta-se, no trabalho, a ausência de uma sistemática para seleção de princípios de uniões de componentes de plástico injetado.

### **3.2 - Generalidades**

Conforme OGLIARI (1999), as atividades econômicas em torno dos materiais plásticos são amplas e variadas. Elas respondem pela produção e comercialização de uma vasta quantidade de produtos, desde matérias-primas, semi-acabados, componentes, até artefatos em geral. Esses produtos atendem diretamente a diversas necessidades humanas e, indiretamente, a outros setores do mercado, geralmente na forma de componentes ou partes de produtos finais.

Em primeiro lugar é importante frisar que o consumo de produtos de plástico, nas mais diversas áreas da sociedade moderna, tem tido um considerável crescimento. Isto pode ser facilmente constatado observando-se a parcela deste material que está presente nos diversos produtos que hoje se encontram disponíveis no mercado. Conforme mencionado anteriormente, o consumo desta matéria-prima no Brasil situa-se em torno de 1,8 milhão de toneladas ao ano,

tornando-se o maior produtor do hemisfério sul de poliolefinas (polietileno, polipropileno), com cerca de 6.000 empresas de transformação (ABIPLAST, 2000).

Os produtos derivados de plásticos têm relevante importância na maneira como as atividades da vida humana são conduzidas. Essa importância reside num conjunto de características peculiares. Entre elas cita-se: a versatilidade, a leveza, a segurança e a durabilidade.

Segundo OGLIARI (1999), os materiais plásticos podem ser conformados numa grande variedade de formas complexas, promovendo soluções de projeto para milhares de aplicações. Eles podem ser rígidos, flexíveis, sólidos, fibrosos, etc. Adicionalmente os plásticos são leves, proporcionam menor consumo de matéria-prima, menor energia na produção, facilidade de manipulação, entre outros. Os plásticos são, em geral, higiênicos, seguros e duráveis, promovendo importantes aplicações para a indústria de alimentos, bebidas, saúde e transporte. Além disso, os materiais termoplásticos podem ser reaproveitados ou reciclados, representando uma grande vantagem dos pontos de vista da preservação do meio ambiente e economia dos recursos naturais.

Conforme OGLIARI (1999), os materiais plásticos são divididos em duas categorias principais: os termoplásticos e os termofixos. Os termoplásticos caracterizam-se por não sofrerem alterações em sua estrutura química com o aquecimento e moldagem (BLASS, 1988). Um objeto constituído de resina termoplástica pode ser remoldado em outro. Exemplos de termoplásticos: polipropileno, polietileno, PVC (policloreto de vinila), náilon, poliacetal, acrílicos, poliestireno, policarbonato, etc. Os materiais termofixos, também chamados de termoestáveis, ao serem aquecidos, apresentam transformações químicas que impedem sua reutilização ou remoldagem. Exemplos de termofixos: resinas de poliéster, epóxi, baquelite, etc. Distribuídos nessas duas categorias, existe uma variedade bastante grande de alternativas de materiais plásticos no mercado.

Existem vários processos para a produção de componentes ou artefatos de plástico. Os processos mais empregados na indústria são a moldagem por injeção, sopro, extrusão e moldagem por compressão (OGLIARI, 1999). Os produtos moldados por injeção de plástico são aqueles sob enfoque na presente dissertação.

O processo de moldagem por injeção é o processo mais comum de transformação de plásticos. A máquina injetora é constituída, essencialmente, de uma rosca transportadora contida em um cilindro aquecido por meio de resistências, de duas placas para sustentação de molde e de um sistema hidráulico ou mecânico de acionamento da rosca e de encosto das placas. O processo

de alimentação do sistema com matéria-prima ocorre, normalmente, através de um funil instalado sobre o cilindro da injetora. O material é conduzido pela rosca transportadora, processo durante o qual sofre ação da temperatura, até o interior do molde por meio de bicos de injeção. Com o molde fechado, submetido à pressão, o material preenche integralmente as cavidades, adquirindo a conformação final. Após o resfriamento das peças no interior do molde, as mesmas são removidas pela ação de pinos extratores. Os tempos de injeção, pressões e temperaturas variam de acordo com a matéria-prima utilizada e as características do produto final, sendo as máquinas normalmente dotadas de dispositivos de regulação.

O processo de injeção destaca-se como um dos mais utilizados pela indústria mundial. Conforme citado anteriormente, representa cerca de 49% do total de peças produzidas anualmente no Brasil pelas empresas de transformação por injeção, em torno de 2800, segundo resultados apresentados pela ABIPLAST (2000).

O processo de injeção é um dos processos de fabricação de componentes mais versáteis, motivo pelo qual vem crescendo de importância e escala de produção.

O processo de injeção possibilita que os componentes fabricados sejam, na maioria das vezes, isentos de operações pós-processo, sendo essa uma das características mais importantes. Os componentes injetados podem possuir geometrias as mais variadas possíveis, sendo que essas formas são limitadas pelo molde de injeção, devido a sua complexidade e custo. Os componentes podem possuir desde geometrias simples (cilindros, esferas, paralelepípedos) até geometrias complexas (lanternas de automóveis, pára-choques, painel de automóvel).

Outra característica importante possibilitada pelo processo de injeção é o fato de se agregar funções que diferentes componentes devem desempenhar em apenas um componente. Aumenta-se conseqüentemente a complexidade de forma, porém são reduzidos os tempos de fabricação, montagem e manutenção.

### **3.3 - Desenvolvimento de produtos de plástico injetado**

Segundo OGLIARI (1999), a indústria de moldagem por injeção é fragmentada, ou seja, um número de diferentes organizações estão envolvidas no processo. Seus profissionais encontram-se dispersos, provocando, entre outras coisas, dificuldades de comunicação e, como conseqüência, maior tempo no processo de desenvolvimento de produto. PERERA (1997) considera que os principais elementos do ambiente de desenvolvimento de produtos de plástico injetado são:

- **A indústria de produtos, em geral:** normalmente solicita e/ou conduz o processo de desenvolvimento de um dado produto de plástico injetado. Incluem-se, aqui por exemplo, as empresas fabricantes de automóveis, computadores, eletrodomésticos, de eletro-eletrônicos, entre outros;
- **Consultores especializados de projeto:** organizações especializadas no projeto de produtos de plástico, que realizam desenvolvimentos gerais, de acordo com as especificações e requisitos de seus clientes. Entre elas, incluem-se escritórios de projeto, institutos de pesquisa, associações, etc.
- **Fabricantes de ferramentas:** organizações que projetam e fabricam os moldes para injeção de componentes ou artefatos de plástico. Trata-se das matrizarias, de um modo geral.
- **Fabricantes de produtos de plástico:** organizações equipadas com máquinas de moldagem por injeção e que produzem os artigos moldados para seus clientes. Trata-se dos moldadores, em geral.

Na prática, ocorre normalmente a seguinte seqüência de atividades: a empresa A necessita de um determinado produto; a mesma faz o projeto do produto ou terceiriza a realização do projeto do produto, mediante a contratação de uma empresa específica do setor. O projeto do produto de plástico injetado é repassado para uma empresa B que projeta o molde. A empresa B pode ser também a matrizaria. Concluído o projeto e a fabricação do molde, este é repassado para uma empresa C que será responsável pela moldagem do produto ou componente de plástico injetado.

Neste contexto, em termos gerais, não ocorre um desenvolvimento integrado de produtos de plástico injetado, mediante a utilização de princípios de engenharia simultânea. Na prática, ocorre uma abordagem de engenharia seqüencial onde cada profissional trata especificamente com os problemas relacionados ao seu domínio de conhecimento e que, em geral, não abrange todas as fases do ciclo de vida do produto. Segundo OGLIARI (1999), esta cadeia apresenta vários problemas: a escassez de profissionais experientes (leva-se 10 anos em média para formar um especialista em projeto de produtos moldados por injeção); necessidade de refluxo de informações de projeto para resolver problemas não considerados à priori (atrasos no desenvolvimento), entre outros.

Conforme OGLIARI (1999), verifica-se que se dá pouca ênfase para aqueles elementos relacionados ao mercado dos produtos de plástico. O público em geral, os usuários do produto, os comerciantes, entre outros, são, normalmente, pouco considerados no processo. Assim, ao serem desconsiderados os interesses destes segmentos da cadeia, pouco adiantarão os melhores

métodos de fabricação ou o molde da mais alta qualidade pois, muito provavelmente, o produto resultante não será comercializado com sucesso.

Segundo OGLIARI (1999), a maioria das propostas para o desenvolvimento de componentes de plástico injetado mencionam um conjunto de fatores, cuja influência é significativa para o sucesso, ou não, do produto. Tais fatores tratam dos custos do componente de plástico, de sua qualidade e do tempo para o seu desenvolvimento. Baixo custo e qualidade são desejáveis e essenciais para a maioria dos produtos projetados, entretanto o tempo de desenvolvimento ou de entrega do componente de plástico é crucial para algumas indústrias. Conforme BEALL (1997), um estudo solicitado pela Hewlet Parker revelou que seis meses de atraso no lançamento de um novo produto reduziria seu lucro durante o ciclo-de-vida, em torno de um terço. Considerando que, determinados produtos, tais como computadores, brinquedos, podem ter ciclos-de-vida bastante curtos (de 24 meses na década de 80 para 6 meses nos tempos atuais), o atraso mencionado anteriormente se torna ainda mais crítico.

Além dos fatores citados, o desenvolvimento de produtos de plástico é sensível à multidisciplinaridade e integração do conhecimento (OGLIARI, 1999). Ele envolve a consideração de vários aspectos, tais como o projeto funcional, geométrico, da forma, a seleção de materiais, o projeto e construção do molde, o processamento da matéria-prima, entre outros. Isto implica no envolvimento de vários especialistas, ou de suas experiências, e de vários problemas técnicos a serem resolvidos, promovendo, por exemplo, problemas de comunicação e de gerenciamento da estrutura de desenvolvimento (ZUKIN et al., 1997).

O desenvolvimento inicial de componentes injetados e o planejamento do processo produtivo é realizado empregando-se informações qualitativas, utilizando-se a experiência dos profissionais envolvidos e baseando-se em regras de projeto específicas. Concluída esta fase inicial, são empregadas ferramentas quantitativas de análise e simulação (BEITER, 1995).

### **3.4 - Metodologias de projeto de componentes e processo de projeto**

Algumas metodologias de projeto de componentes de plástico injetado tem sido propostas, sendo mais conhecida a proposta por MALLOY (1994). Esta é fundamentada nos princípios de engenharia simultânea. Para desenvolvê-la, o autor buscou incorporar, analisar e avaliar, num único modelo, aspectos e informações relacionadas ao ferramental, ao processo de manufatura, além do próprio componente.

Conforme FERREIRA (1997), do mesmo modo que no modelo consensual de projeto baseado na teoria de sistemas, e analisando o processo de projeto proposto por MALLOY (1994), é possível identificar as fases de projeto conceitual, preliminar e detalhado. Cada fase compreende as seguintes etapas:

- **Projeto conceitual:** compreende as etapas de definição dos requisitos de projeto do componente, desenvolvimento de um projeto conceitual do componente, seleção inicial de materiais para o componente, projeto do componente de acordo com as propriedades dos materiais e seleção final do material do componente;
- **Projeto preliminar:** envolve a modificação final do componente visando a sua manufatura;
- **Projeto detalhado:** ocorre o desenvolvimento do protótipo do componente.

A seguir, descreve-se, detalhadamente, cada uma destas fases de projeto.

#### 3.4.1 - Projeto conceitual de componentes de plástico injetado

O projeto conceitual de componentes de plástico injetado é um campo de conhecimento emergente, pois, normalmente, fala-se em projeto preliminar e detalhado destes componentes. Segundo (CHIN et al, 1996), em se tratando de projeto conceitual de componentes injetados, os problemas mais comuns relacionados à geração e avaliação de novas concepções são: inadequada exploração da viabilidade de todas as alternativas de concepções; ineficiente consideração dos critérios de avaliação do produto em relação a facilidade de fabricação e aos custos de produção; inadequada consideração das influências mútuas entre a fabricação do molde, o processo de moldagem, o projeto detalhado do componente e o projeto do molde; e a coordenação deficiente entre os especialistas envolvidos no projeto.

A fase de projeto conceitual caracteriza-se pelo desenvolvimento de uma concepção para o componente injetado. Segundo MALLOY (1994), na primeira etapa do projeto conceitual, são definidos os requisitos de projeto do componente. Primeiramente, são levantadas as necessidades dos clientes que, posteriormente, são convertidas em requisitos e especificações de projeto. Para isto, podem ser utilizadas a primeira matriz do QFD e as estruturas de desdobramento de custos de componentes injetados, propostas por FERREIRA (1997).

Em se tratando de componentes injetados é importante que sejam ouvidas as equipes e as empresas responsáveis pelo projeto do componente, do molde e do processo de injeção, além do usuário final. As demandas podem ser desdobradas em técnicas, relacionadas ao material do componente e do molde, ao projeto, a fabricação do molde, ao processo de injeção e econômicas,

incluindo custos de material do componente e do molde, de projeto e fabricação do molde, e do processo de injeção. Da mesma forma que para as necessidades, FERREIRA (1997) propõe que sejam estabelecidos os requisitos técnicos e os requisitos de custos do componente.

Na segunda etapa do projeto conceitual, segundo MALLOY (1994), deve ser desenvolvida a concepção do componente. Nesta fase, situa-se a grande diferença, em termos de abordagem, do modelo consensual de projeto.

No modelo consensual de projeto segundo FERREIRA (1997), são desenvolvidas as estruturas funcionais, as quais representam os diversos sistemas que compõem o produto. A partir desta estrutura são gerados os princípios funcionais que, combinados, dão origem as alternativas de concepção do produto.

Conforme FERREIRA (1997), durante a execução desta etapa do projeto, as decisões tomadas são constantemente avaliadas em relação aos requisitos técnicos e custos. Para isto, são empregadas ferramentas específicas, tais como: método de análise funcional (PAHL & BEITZ, 1996); diagrama FAST (BLANCHARD & FABRYCKY, 1990), método da matriz morfológica (BACK, 1983) e as matrizes de decisão de seleção da estrutura funcional e da alternativa de concepção segundo FERREIRA (1997).

O emprego do modelo consensual no projeto de componentes de plástico injetado pode ser uma tarefa complexa, devido à dificuldade de se identificar uma função total e, principalmente, um conjunto de funções parciais do componente. Além disto, deve ser considerado a dificuldade de se associar um fluxo de energia, material e sinal às partes que formam estes componentes. Esta realidade é reflexo das práticas atuais de desenvolvimento de produtos, uma vez que as metodologias existentes foram elaboradas tendo como base a teoria de projeto de sistemas (FERREIRA, 1997).

Em se tratando de componentes injetados, observa-se que o seu projeto baseia-se, muito mais, no desenvolvimento de elementos básicos (nervuras de reforço, bossas ou castelos, insertos, entre outros), na consideração de informações de forma (recomendações de projeto), de material (especificações), de processo (recomendações) e na experiência de quem o executa, do que, simplesmente, no desdobramento funcional (FERREIRA, 1997).

Uma proposta para minimizar o problema, visando a sistematização do processo de desenvolvimento de componentes injetados, seria identificar e associar funções, recomendações de projeto e informações de projeto a estas formas e, posteriormente, gerar uma estrutura funcional do componente (FERREIRA, 1997).

Neste sentido, MALLOY (1994) busca estabelecer uma associação entre as funções do componente e as informações sobre as suas dimensões. O autor procura identificar quais funções e dimensões são fixas e quais são variáveis. As fixas estão relacionadas as características geométricas, padronizadas, do componente e, portanto, não podem ser modificadas. Recomenda a utilização de modelos tridimensionais, os quais visam facilitar o esclarecimento e o detalhamento das características estéticas e geométricas do componente.

Na terceira etapa do projeto conceitual é realizada a seleção inicial de materiais para o componente.

Na quarta etapa do projeto conceitual é desenvolvida a concepção do componente de acordo com as propriedades dos materiais candidatos ao projeto. A equipe de projeto deve concentrar esforços no desenvolvimento de concepções para cada um dos materiais. Apenas mais adiante, quando os requisitos de projeto forem especificados e o projeto do componente estiver detalhado, procede-se à escolha final do material em termos econômicos.

Na última etapa do projeto conceitual é procedida a seleção final do material do componente. Segundo (MALLOY, 1994), nesta etapa do projeto, devem ser consideradas e avaliadas as características do material, relacionadas ao custo de manufatura, aos requisitos de projeto e as condições do processo.

Fazendo uma analogia com o modelo consensual de projeto, a seleção final do material do componente e da alternativa de concepção do componente poderia ser realizada empregando-se a matriz de decisão proposta por FERREIRA (1997). Esta matriz de decisão tem o objetivo de apoiar e orientar no processo de seleção da alternativa de concepção do produto/componente, a partir da obtenção de um índice técnico, indicando qual delas possui melhor desempenho técnico em relação às demais e da apresentação do valor do seu custo estimado.

Segundo FERREIRA (1997), a seleção do material e da alternativa de concepção do componente deve ser realizada considerando aspectos técnicos e o valor do custo estimado. Comparando o resultado do índice de desempenho técnico, o valor do custo estimado e o custo-meta do componente, é possível selecionar uma alternativa de concepção, segundo o critério de melhor desempenho técnico a um custo mais baixo.

### **3.4.2 - Projeto preliminar de componentes de plástico injetado**

Segundo MALLOY (1994), nesta fase, a equipe responsável pelo desenvolvimento do componente, projeto e fabricação do molde e processo de injeção, deve introduzir modificações

finais no projeto do componente. Estas modificações são, geralmente, de ordem geométrica e visam facilitar o processo de moldagem do componente.

Conforme BACK (1998), nesta fase de projeto, o primeiro passo consiste em estabelecer os modelos de dimensionamento. A forma geométrica, aproximada, da concepção desenvolvida é modelada em um sistema CAD-3D. Para este modelamento dispõe-se de alternativas como o ProEngineer, SolidWorks, entre outros. Os componentes são submetidos também à simulações de moldabilidade de injeção. Para isso são utilizados os sistemas Moldflow, C-mold e Strim for Plastics.

Ao final da fase de projeto preliminar dispõe-se de dados suficientes para uma revisão sistemática, pela comparação com as especificações de projeto, para introduzir modificações se necessárias e escolher o material e a concepção final do produto.

### **3.4.3 - Projeto detalhado de componentes de plástico injetado**

Nesta fase também são realizadas simulações computacionais de moldabilidade e desempenho estrutural deste componente, com o objetivo de fornecer uma avaliação teórica da sua manufacturabilidade e dos aspectos relacionados aos seu desempenho mecânico. No projeto detalhado são realizados os melhoramentos necessários, identificados nas simulações efetuadas, fixados os atributos finais do produto e é efetuada, uma verificação e avaliação de desempenho do produto.

### **3.5 - Seleção do princípio de união de componentes de plástico injetado**

Segundo MALLOY (1994), a seleção do princípio de união de componentes de plástico injetado compreende a análise de requisitos e aspectos de fabricação, estéticos, ambientais, estruturais, custos, materiais e funcionalidade.

Tais requisitos exercem influência direta na seleção do princípio de união. Requisitos estéticos são de suma importância em aplicações que requerem estética refinada, evitando-se nesses casos o uso de parafusos em locais visíveis.

Requisitos ambientais e estruturais influenciam também na seleção do princípio de união. Por exemplo, a utilização de fixadores mecânicos ou soldagem de um particular produto termoplástico pode ser preferida em relação à colagem por adesivos se o produto estiver exposto em ambientes sujeitos à altas temperaturas e altas umidades. Há também uma variedade de

requisitos estruturais associados com a montagem do produto. Dentre esses requisitos incluem-se o desempenho do sistema de fixação sob carregamento de impacto, sob carregamento dinâmico (cargas de fadiga), sob carregamento estático, e sob os efeitos de tensões residuais ou termicamente induzidas.

Um dos fatores mais importantes a serem considerados para a seleção do princípio de união é a funcionalidade, ou a facilidade de unir ou desunir os componentes. A facilidade de desmontagem é muitas vezes necessária para reparo ou manutenção do produto, e para fins de reciclagem. Colagem por adesivo e os processos de soldagem são geralmente considerados como irreversíveis, enquanto os engates rápidos, ajustes por pressão e as uniões obtidas por meio de fixadores mecânicos facilitam os procedimentos de desmontagem. Por exemplo, parafusos autoatarraxantes podem ser usados em aplicações que exigem raras desmontagens para reparo, enquanto parafusos mais duráveis e insertos metálicos são empregados quando são exigidas freqüentes desmontagens, por exemplo em manutenção de máquinas fotocopadoras.

Os materiais constituintes dos componentes a serem unidos requerem uma atenção muito especial. O polietileno, por exemplo, é ideal para ajustes por interferência e montagens por engate rápido devido a sua ductilidade. Entretanto, a resistência química superior e baixa energia superficial restringem o uso de adesivos associados a este material. As técnicas de soldagem são apropriadas para termoplásticos, mas não para os termofixos. O coeficiente de expansão térmica é também uma importante propriedade dos materiais, especialmente quando componentes constituídos de materiais diferentes são conectados, ou quando o processo de montagem envolve a adição de um terceiro material, tal como no caso de colagem por adesivo ou fixação por parafuso.

Segundo TRES (1995), para a seleção do princípio de união de componentes de plástico injetado, variáveis tais como materiais, projeto e condições de uso a que os produtos finais serão submetidos, devem ser levadas em consideração nesta tomada de decisão. Ainda conforme o referido autor, outras considerações tais como custo e experiência também devem ser levadas em conta.

Segundo FRANTZ (1997), a escolha correta do princípio de união de componentes de plástico injetado depende da análise de critérios tais como: materiais; geometria e tamanho dos componentes; capacidade do processo; volume; e tempo gasto para efetuar a união dos componentes.

Não existe uma sistemática que defina o princípio mais adequado de união de componentes de plástico injetado em função da análise integrada de um conjunto de parâmetros

tais como geometria dos componentes, condições de serviço/ambiente, carregamentos mecânicos, facilidade de montagem/desmontagem, materiais utilizados, facilidade de fabricação, custos, volume de produção, etc. Na realidade, ocorre que, para a seleção de princípios de uniões de componentes de plástico injetado, existem somente recomendações isoladas, ou seja, não há uma análise integrada entre as interações existentes entre estas recomendações. São recomendações tais como: “se houver necessidade de manutenção ou reparo dos componentes, não usar uniões rebitadas, as quais não são desmontáveis.”

### **3.6 - Considerações finais**

Neste capítulo, realizou-se uma avaliação geral do domínio de produtos de plástico injetado, onde será aplicada a sistemática proposta neste trabalho.

Iniciou-se com uma análise das principais abordagens que vêm sendo desenvolvidas para o projeto de produtos de plástico injetado. Verificou-se que grande parte das abordagens é voltada, em geral, para a avaliação ou o reprojeto da geometria do componente de plástico, sob as restrições da manufatura. Além disso, estas abordagens trazem poucas informações a respeito de como proceder com o projeto dos componentes e suas interfaces/uniões. A principal constatação encontrada foi a ausência de uma sistemática para a seleção de princípios de uniões de componentes de plástico injetado.

No próximo capítulo, finaliza-se a revisão bibliográfica. Serão apresentadas as diferentes classificações dos princípios de uniões de componentes e o levantamento e caracterização dos principais princípios de uniões de componentes de plástico injetado. Por fim, será proposto um novo sistema de classificação, o qual será aplicado às uniões de componentes de plástico injetado.

## **CAPÍTULO 4 - UNIÕES DE COMPONENTES DE PLÁSTICO INJETADO**

### **4.1 - Introdução**

Neste capítulo, são descritos os principais princípios de uniões de componentes de plástico injetado, obtidas por meio de parafusos, insertos rosqueados, rebites, pinos, engates integrais, dobradiças, interferência, processos de soldagem, adesivos e solventes. Na sequência, são levantadas as principais classificações existentes para os diferentes princípios de uniões. Finalizando o capítulo, um novo sistema de classificação é proposto e aplicado às uniões de componentes de plástico injetado.

### **4.2 - Princípios de uniões de componentes de plástico injetado**

Em geral, um produto é constituído de vários componentes. Para formá-lo, estes componentes precisam ser conectados entre si. No caso de componentes de plástico injetado, estes são unidos a outros componentes de plástico ou unidos a componentes constituídos de outros tipos de materiais.

A necessidade de produção de componentes de plástico maiores, mais complexos, resultou no aumento da demanda de técnicas e de processos de união de componentes, particularmente de termoplásticos. A moldagem por injeção tem sido extensamente utilizada devido ao fato de que os componentes plásticos podem ser produzidos a um baixo custo e em grandes quantidades. Entretanto, a moldagem por injeção não é capaz de produzir todos os tipos e tamanhos de estruturas. Conseqüentemente, muitas vezes a alternativa de melhor custo benefício é moldar dois ou mais componentes em separado, efetuando-se posteriormente a união destes através de um ou mais princípios de uniões.

Os princípios de uniões de componentes de plástico injetado são descritos a seguir.

#### **4.2.1 - Uniões por interferência**

Este é um tipo de união que não utiliza componentes ou fixadores adicionais para unir os componentes. É obtido forçando-se um componente para dentro de outro, aproveitando as propriedades elásticas dos materiais plásticos, de modo a se obter um ajuste por interferência.

As uniões por interferência são mais usualmente utilizadas para a montagem de componentes de plástico cilíndricos, tais como representado na Figura 4.1a.

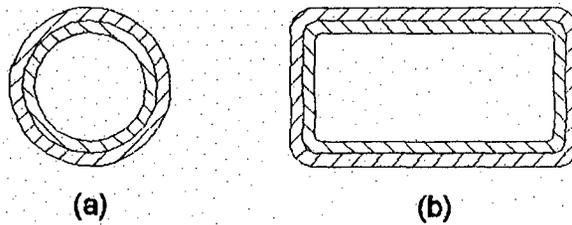


Figura 4.1 - Uniões por interferência.

O conceito é ideal para componentes cilíndricos visto que as tensões e deformações associados com a interferência estão distribuídos uniformemente ao redor da circunferência do componente.

As uniões por interferência também podem ser utilizadas para unir componentes de seção transversal quadrada e retangular, em combinação com cantos arredondados, conforme a Figura 4.1b. Exemplos de aplicações bem sucedidas são os potes com tampa para armazenagem de comida e embalagens cosméticas.

Segundo MALLOY (1994), este tipo de união pode ser utilizado com qualquer material termoplástico ou termofixo. Entretanto, na prática, sua utilização torna-se significativamente mais fácil com polímeros mais dúcteis, tais como polietileno, náilon e acetal. Vários polímeros rígidos são muito frágeis para serem utilizados numa união por interferência. A resistência à torção de uma dada união é determinada pelas propriedades dos materiais e pela interferência diametral. Os valores de interferência permitidos são diretamente relacionados aos valores de deformação de projeto, e, como resultado, a diferença entre o diâmetro interno do cubo e o diâmetro do eixo pode ser menor do que as tolerâncias de fabricação combinadas do cubo e do eixo. Quando polímeros mais dúcteis são usados, os valores de deformação de projeto são suficientemente grandes (relativo às tolerâncias de manufatura do eixo e do cubo combinadas), o que torna a união por interferência uma opção prática e eficaz para a montagem de componentes. Quanto mais dúcteis forem os materiais usados, maior será a interferência obtida, pois maior será a deformação após o ajuste.

A união por interferência pode ser utilizada para unir componentes feitos de materiais similares ou dissimilares, e todas as propriedades dos materiais devem ser consideradas quando a junta é projetada.

A principal vantagem deste tipo de união é sua simplicidade. Componentes são moldados sem furos ou rebaixos, e fixadores mecânicos adicionais, tais como parafusos, não são exigidos.

Outra vantagem importante refere-se ao fato de que a união obtida é reversível, ou seja, é desmontável, permitindo assim manutenção ou reparo, caso seja necessário.

Uma característica importante das uniões por interferência é que o componente macho deve ser maior do que a mais alta tolerância do furo no componente fêmea de modo a que o ajuste seja bem sucedido. Se estas dimensões são iguais, elas criam um ajuste com folga, o qual não será seguro.

O cubo está sujeito a um carregamento de tração, enquanto o eixo está sujeito a um carregamento de compressão. As propriedades dos materiais do cubo e eixo devem ser levadas em consideração quando são projetadas uniões por interferência, especialmente quando o eixo é feito de plástico. Os níveis de tensão de tração no cubo devem ser mantidos os mais baixos possíveis de modo a promover uma união mais confiável. Se os valores de tensão de projeto são baixos, a diminuição da resistência torcional (ou axial) devido ao alívio de tensões será reduzida. Além disso, a possibilidade de falha devido a rachaduras, linhas de solda ou químicos diminui em níveis mais baixos de tensão. Infelizmente, a resistência axial e torcional de uma união por interferência está também diretamente relacionada a pressão de contato e por isso ao nível de tensão de tração. A força,  $F$ , requerida para provocar movimento relativo entre o cubo e o eixo pode ser dada por

$$F = \mu \cdot P \cdot A \quad (1)$$

onde  $\mu$  é o coeficiente de fricção entre o eixo e o cubo,  $P$  é a pressão de contato e  $A$  é a área superficial de contato. Um ótimo projeto de união por interferência é alcançado quando o projetista usa um valor de interferência que resulta em baixos níveis de tensões, mas maximiza a área superficial de contato. Eixos de diâmetros maiores podem também ser usados quando possível. Aditivos que reduzem o coeficiente de fricção do polímero reduzirão a resistência torcional da união. Aditivos tais como lubrificantes e agentes desmoldantes devem ser evitados em aplicações de uniões por interferência. As superfícies de contato devem estar muito limpas e livres de qualquer tipo de contaminante químico que poderia resultar em possível falha.

O objetivo do projetista na maioria das aplicações de união por interferência é produzir uma montagem que ofereça adequada resistência aos movimentos torcional e axial, ao mesmo tempo em que mantém os níveis de tensão do componente (especialmente a tensão de tração) dentro de limites aceitáveis. O nível de tensão de tração para uma dada combinação de material

de eixo/cubo é determinado pela geometria global dos componentes e pelo valor de interferência utilizado.

O projetista deve determinar um valor de interferência aceitável para cada aplicação. Na maior parte dos casos, as dimensões externas do cubo e às vezes o diâmetro do eixo são ditadas pela aplicação do conjunto. O valor da interferência pode ser determinado empregando-se para tal, equações de projeto, ou gráficos fornecidos pelos fabricantes de matéria-prima.

Uniões por interferência sujeitas a variações de temperatura, devem ser produzidos com materiais que tenham coeficientes de expansão térmica semelhantes sempre que possível, de modo a evitar alterações na interferência efetiva. Uma diferença significativa entre os coeficientes de expansão térmica provocará expansão ou contração dos componentes sob diferentes taxas de variação à medida que a temperatura sofre alterações. Isto pode causar um dramático aumento nos níveis de tensões no componente e pode induzir a fadiga térmica do material, se a mudança de temperatura for severa e repetida.

Alguns plásticos tais como náilon e acetal (Delrin) exibem expansão devido à absorção de umidade. Isso pode ser problemático pois pode resultar em afrouxamento da união.

Segundo MALLOY (1994), retenção de torque é um problema significativo para este tipo de união, devido ao alívio de tensões. Uma vez que a união é executada, a pressão de contato e a resistência torcional diminuem ao longo do tempo. Entretanto, se o mesmo cubo é pressionado e montado sobre um eixo estriado ou texturizado, o arraste do cubo sobre a superfície mais áspera ou irregular do eixo pode resultar em uma resistência torcional mais constante, ou até mesmo num aumento desta ao longo do tempo. Eixos de superfícies lisas são recomendados para polímeros rígidos e amorfos, enquanto eixos com superfícies estriadas ou texturizadas podem ser usados com materiais mais dúcteis e semi-cristalinos os quais são menos sensíveis aos efeitos de concentração de tensões. As uniões por interferência possibilitam vedações herméticas a fluidos diversos.

#### **4.2.2 - Dobradiças**

Dobradiças são utilizadas para unir dois componentes plásticos que requerem movimento relativo entre si. Muitos tipos diferentes de dobradiças podem ser utilizadas para unir dois componentes. Podem ser moldadas nos componentes ou montadas como uma operação secundária.

Vários tipos de dobradiças podem ser moldados em componentes de plástico. Isto pode resultar em uma significativa redução no custo total mediante a eliminação de componentes e operações adicionais, e pela redução de problemas potenciais de qualidade relacionados ao alinhamento dos componentes da dobradiça. Os vários tipos de dobradiças são descritos a seguir:

### A - Dobradiças integradas

Em muitos projetos de componentes termoplásticos, é vantajoso criar membros de conexão integral entre esses componentes, os quais permitem movimento relativo.

Uma dobradiça integrada é uma porção muito fina de material polimérico que interliga duas paredes fortes dos componentes. Assim, os dois componentes e a dobradiça são moldados como se fossem um único componente. A dobradiça confere ao componente a habilidade de abrir e fechar ou dobrar sem que seja necessária a utilização de dobradiças mecânicas.

Os materiais mais comumente usados em projetos de dobradiças são materiais termoplásticos semi-cristalinos tais como polipropileno, polietileno e náilon. Estes materiais são empregados devido à habilidade de poderem dobrar ou flexionar várias vezes sem ruptura, ou seja apresentam grande resistência à fadiga. Esses materiais também são empregados devido ao seu baixo custo e a facilidade de processamento. Segundo ROTHEISER (1999), o polipropileno é o material mais utilizado para dobradiças integradas. Materiais reforçados com fibra de vidro ou carga mineral, talco e mica, não são recomendados para este tipo de dobradiça. Materiais termofixos ou termoplásticos amorfos não podem ser usados para dobradiças integradas.

Conforme FRADOS (1976), quando adequadamente projetada, uma dobradiça integrada flexionará acima de 300.000 vezes sem falhar. Na figura 4.2 está representada a seção transversal de uma dobradiça integrada para polipropileno e polietileno antes e após dobramento. Conforme a referida figura, a dobradiça possui um recesso na parte superior e um arco na parte inferior.

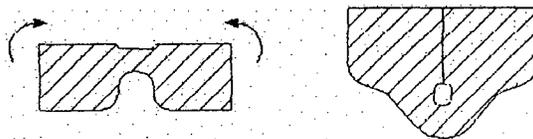


Figura 4.2 - Seção transversal de uma dobradiça integrada.

Quando a dobradiça está dobrada na posição fechada ( $180^\circ$ ), o recesso ajuda a criar o raio de arredondamento necessário para prevenir uma possível quebra da dobradiça em tração. A ausência do recesso provoca uma concentração de tensões na posição fechada. Isso ocorre

porque a parte superior da dobradiça ficará sob compressão e a parte inferior sob tração. Para facilitar a compreensão do que foi dito anteriormente, basta traçar um eixo longitudinal sobre a seção transversal da dobradiça antes do dobramento. Quando dobrar, o material acima do eixo estará em compressão e o material abaixo do eixo estará sob tração.

Segundo TRES (1995), o arco na porção superior da dobradiça é projetado para promover a orientação linear das cadeias de moléculas do polímero e possibilitar a flexão da dobradiça acima de um milhão de ciclos.

Para que a dobradiça suporte um grande número de ciclos, flexões rápidas da união devem ser executadas imediatamente após a ejeção do componente moldado da injetora. A alta temperatura do componente recém retirado do molde, combinado com as poucas e rápidas flexões aplicadas pelo operador da máquina orientam as moléculas do material na área da dobradiça. Isto é verdadeiro para o polipropileno em todos os casos, e para o polietileno, em determinadas circunstâncias. Se o componente for de poliamida (náilon), poderá ocorrer uma quebra. Isso ocorre porque componentes de náilon apresentam níveis muito baixos de resistência logo após a injeção, e essa resistência está relacionada com o teor de umidade dos componentes. Os componentes de náilon estão desprovidos de umidade quando ejetados do molde. Eles vão paulatinamente absorvendo umidade do ar, alcançando o nível de saturação dentro de poucos meses.

Sabe-se que o polipropileno é o material que apresenta as melhores propriedades para aplicação em dobradiças integradas. Porém em condições de operação que expõem o componente a altas temperaturas e a possíveis vazamentos de substâncias tais como gasolina e óleo, situação existente por exemplo sob o capô do motor de um carro, o polipropileno não é o material mais apto para tal. Assim, para essa situação, o projetista deve considerar outro material plástico, o qual pode ser uma poliamida (náilon).

Aditivos estabilizadores são requeridos para garantir longa vida em serviço para dobradiças integradas expostas a ambientes quentes ou úmidos e à radiação ultravioleta. Conforme ROTHEISER (1999), a porção fina do conjunto é mais vulnerável à ação degradante desses agentes.

As dobradiças integradas podem ser uniões estanques à fluidos diversos. Isto é possível mediante a incorporação de uma nervura vedante, conforme a Figura 4.3.

Dobradiças integradas podem ser usadas por exemplo, para unir um conjunto tampa e caixa, onde ocorre movimento relativo entre as partes.

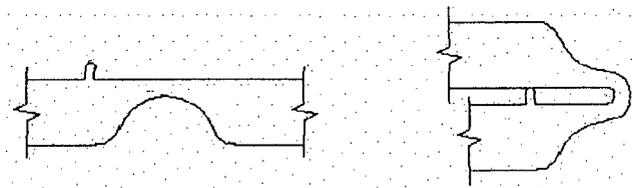


Figura 4.3 - Dobradiça integrada com nervura vedante.

## B - Dobradiças de dois componentes

Estes tipos de dobradiças são constituídos por dois componentes e podem ser moldados de modo que os componentes a serem unidos encaixam-se rapidamente durante a montagem.

As dobradiças de dois componentes são utilizadas para unir materiais termoplásticos amorfos. Também podem ser utilizadas para unir alguns materiais termofixos, mas os termoplásticos geralmente provêm a mais adequada combinação de propriedades para estas aplicações. As dobradiças de dois componentes são as seguintes:

### B.1 - Dobradiças de encaixe rápido

Um exemplo de dobradiça de dois componentes é mostrado na figura 4.4. É chamado de dobradiça de encaixe rápido. Consiste de um pino moldado em um dos componentes, o qual é sustentado em ambas as extremidades, e um receptáculo ou flange semicircular moldado no outro componente. A união é efetuada mediante a inserção do pino moldado no receptáculo.

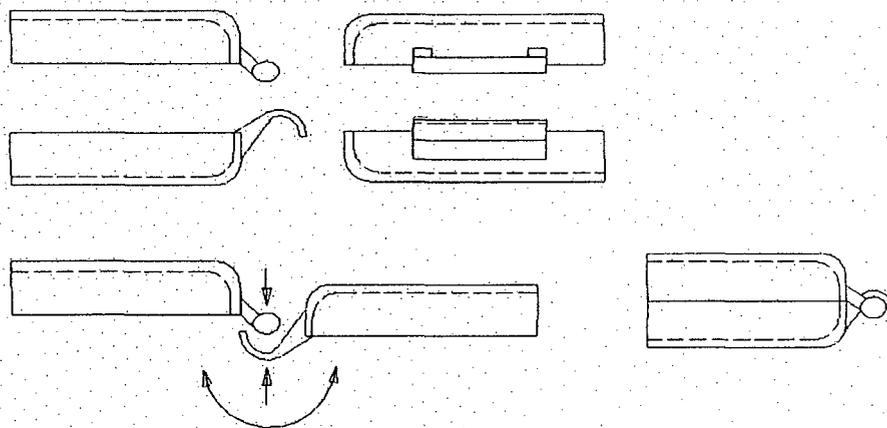


Figura 4.4 - Dobradiça de encaixe rápido.

## B.2 - Dobradiças pino

Outro tipo de dobradiça pertencente a esta categoria está representado na Figura 4.5. Um dos componentes da dobradiça apresenta dois pinos moldados cilíndricos, os quais são duas extensões a partir das paredes do componente. O outro componente possui dois orifícios laterais para o encaixe dos pinos, efetuando-se dessa maneira a união pretendida.

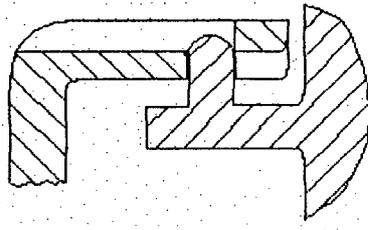


Figura 4.5 - Dobradiça pino.

## B.3 - Dobradiças esfera e embocadura

Este tipo de dobradiça está representado na Figura 4.6. Neste tipo de união a montagem é feita inserindo-se as protuberâncias com o formato de esfera de um dos componentes nas embocaduras ou receptáculos do outro componente. A montagem dos componentes deve ser feita logo após a moldagem dos componentes, pois estes ainda encontram-se quentes, facilitando desse modo a execução do serviço.

A dobradiça da Figura 4.6a possibilita uma sujeição mais firme porque há suporte em ambos os lados da união. Entretanto, esse estilo de dobradiça é geralmente mais frágil e difícil de montar do que a dobradiça da Figura 4.6b.

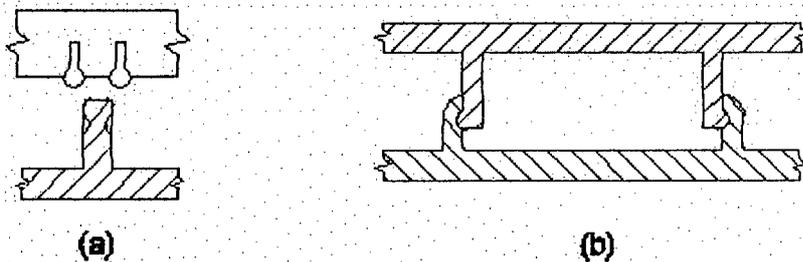


Figura 4.6 - Dobradiças esfera e embocadura.

### C - Dobradiças de três componentes

As dobradiças de 3 componentes são utilizadas em um vasto campo de aplicações para as quais os outros tipos de dobradiças não são bem apropriados. São adequadas para as seguintes situações: quando existem carregamentos pesados atuantes sobre os componentes; para baixos volumes de produção; para materiais termoplásticos rígidos ou amorfos e materiais termofixos. O terceiro componente nesta categoria é um pino.

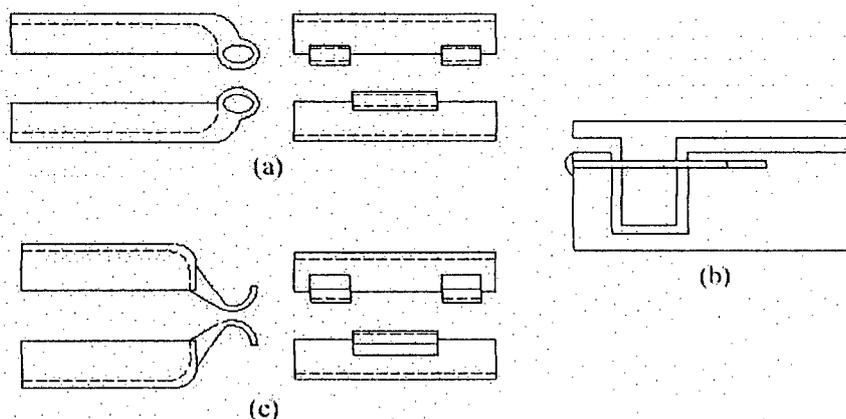


Figura 4.7 - Dobradiças de três componentes.

Exemplos destas dobradiças são mostrados na Figura 4.7. Na Figura 4.7a, a união é obtida inserindo-se um pino de metal ou plástico nas seções ou flanges circulares de ambos os componentes. Na Figura 4.7b, a união é obtida inserindo-se um pino através dos orifícios dos dois componentes. Na representação da Figura 4.7c, a união é obtida inserindo-se um pino de metal ou plástico entre as flanges semicirculares de ambos os componentes. Os furos para os pinos podem ser moldados nos componentes ou perfurados após a moldagem por injeção.

#### 4.2.3 - Engates integrais

Assim como as uniões por interferência, os engates integrais constituem um tipo simples de união de dois componentes sem o uso de quaisquer componentes adicionais ou fixadores. Os engates integrais são os tipos de uniões mais simples e rápidos.

Engates integrais podem ser utilizados para unir componentes constituídos de polímeros dissimilares. Os materiais mais apropriados para engates integrais são os termoplásticos mais dúcteis devido à alta flexibilidade e habilidade de serem facilmente moldados em complexas

geometrias a um custo mais baixo. Outras vantagens são o baixo coeficiente de fricção, alto índice de alongamento relativo e suficiente resistência e rigidez para atender os requisitos da maior parte das aplicações. Eles são utilizados em uma variedade de indústrias para unir, por exemplo, componentes eletrônicos, brinquedos, peças automotivas e milhares de outros produtos.

Segundo TRES (1995), há uma tendência em simplificar custos de manufatura, e os engates integrais possibilitam isso, pois atuam como fixadores que são moldados diretamente nos componentes a serem unidos. Eles evitam a necessidade de investimentos adicionais em ferramentas, possibilitam montagens e desmontagens mais rápidas bem como eliminam a necessidade de fixadores mecânicos adicionais ou adesivos. Além disso, os componentes dotados de engates integrais podem ser unidos e desunidos numerosas vezes sem qualquer efeito adverso sobre a união, de modo a permitir acesso para reparo ou manutenção e facilitar a reciclabilidade do conjunto. Dependendo do projeto desenvolvido, os engates integrais podem estar ocultos da visão do consumidor, o que representa uma vantagem estética dos engates integrais com relação aos fixadores mecânicos tradicionais tais como parafusos e rebites.

Os engates integrais podem proporcionar grandes benefícios para o processo de manufatura. Através da redução do número de componentes, pode-se economizar nos custos de armazenamento, reduzir custos de mão-de-obra, reduzir estoques, reduzir o número de fornecedores requeridos, reduzir os custos de manuseio e todos os outros custos associados com componentes adicionais. Segundo ROTHEISER (1999), os engates integrais apresentam um custo mais baixo do que outros tipos de uniões que utilizam elementos adicionais, tais como parafusos, rebites, insertos, adesivos, solventes e preformas eletromagnéticas. Reduzem os custos de desmontagem e de reciclagem dos componentes. Eles também proporcionam redução do tempo de montagem e são muito apropriados para montagem automatizada. Ainda segundo ROTHEISER (1999), os engates integrais possibilitam grandes volumes de produção, com taxas de 20 a 60 componentes por minuto, pois o tempo para efetuar a união dos componentes é praticamente instantâneo.

Porém, o projeto de engates integrais exige atenção especial por parte do projetista. Isto se justifica pelo fato de que engates integrais projetados de modo incorreto podem quebrar na montagem ou antes da montagem.

Uniões de engates integrais podem apresentar uma grande variedade de geometrias, entretanto, os princípios de operação são os mesmos em cada caso particular. Quando dois componentes são unidos através de engates rápidos integrais, uma viga com um gancho na

extremidade é defletida durante a montagem, de modo a ser encaixado em um furo ou entalhe moldado no outro componente. A deflexão durante a operação de montagem pode ser relativamente grande, resultando em altas tensões ou níveis de deformação. Entretanto, uma vez que a montagem é concluída, os componentes são geralmente projetados para permanecer em um estado relativamente livre de tensões, ao contrário das uniões por interferência.

A versatilidade das uniões através do uso de engates integrais é talvez sua maior vantagem. Engates integrais, particularmente engates anulares, são às vezes usados em conjunto com dobradiças integradas. Do ponto de vista das filosofias de projeto para montagem e desmontagem, a combinação destes tipos de uniões provém um ótimo meio de fixação.

Talvez a maior desvantagem associada com o uso de uniões por engates integrais é a consequência de falha ou quebra do engate. Componentes dotados de engates integrais que são frequentemente desmontados e remontados, podem falhar devido à fadiga, bem como podem falhar devido ao manuseio inadequado no momento da montagem. Isto pode ser um problema particular para uniões de componentes constituídos por polímeros frágeis, carregados, ou reforçados. Visto que o engate é moldado diretamente no componente, a quebra do engate pode significar a inutilização do componente. O conserto de engates integrais é difícil ou até mesmo impossível, dependendo da situação. Assim, na hora de projetar componentes que serão unidos por engates integrais, pode ser desejável aumentar o número de uniões de engates requeridos para um produto particular. Essa redundância pode exercer impacto sobre os custos de ferramentaria e do produto final, entretanto, a vida em serviço do componente pode ser estendida. Componentes limitadores de deformação, adjacentes aos engates, podem ser adicionados de modo a limitar a deflexão permissível e reduzir o perigo de quebra do engate.

Uma outra desvantagem associada com o uso de uniões através de engates integrais é a necessidade de maior rigidez sobre as tolerâncias do componente. A rigidez de uma união por meio de engate integral é controlada pela geometria do engate e pelo estado de tensões após a montagem. Excessiva interferência ou tensões pode levar a um potencial de falha na união, enquanto a ausência de interferência pode resultar em posicionamento instável ou afrouxamento dos componentes. Controle de pré-carga pode ser também difícil de realizar. Entretanto, projetos criativos da união e controle cuidadoso com relação as tolerâncias do componente melhoram e facilitam o controle de pré-carga.

Além das desvantagens já comentadas tais como possibilidade de quebra dos engates, segundo ROTHEISER (1999), existem também limitações no processo de moldagem e limitações construtivas nos moldes. Diferenças significativas no coeficiente de expansão térmica

linear entre os dois materiais a serem unidos pode resultar em rachaduras nos componentes ou afrouxamento da união em aplicações expostas a extremos de temperaturas. A expansão devido à absorção de umidade é suficiente para resultar em afrouxamento da união em alguns materiais plásticos. A união também pode afrouxar devido à fluência dos materiais. A exposição da união à ação de substâncias químicas e à radiação ultravioleta pode resultar em quebra devido ao surgimento de rachaduras ou fissuras.

Outra desvantagem verificada com o uso de engates integrais é a dificuldade de obter vedações herméticas devido aos vários fenômenos que podem provocar o afrouxamento da união sob carregamento. Por tais razões, segundo ROTHEISER (1999), os engates integrais não são recomendados quando vedações herméticas são requeridas. Existem três tipos básicos de engates integrais:

#### A - Engates anulares ou circulares

Esse tipo de engate integral é usado para a união de dois componentes circulares. Segundo ROTHEISER (1999), o engate integral do tipo anular é concorrente direto da união por interferência como alternativa para unir dois componentes de plástico injetado.

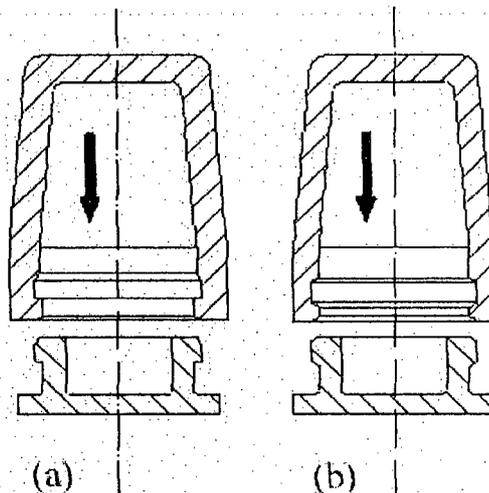


Figura 4.8 - Engates integrais anulares.

Este tipo de engate possibilita uniões estáticas ou móveis (movimento relativo entre os componentes). Pode ser utilizado tanto para aplicações onde existe acesso em somente um dos lados da união, como para aplicações onde existe acesso em ambos os lados da união.

A Figura 4.8 representa duas alternativas de união: reversível ou desmontável e irreversível ou permanente. A união reversível ou desmontável (Figura 4.8b), incorpora um

ângulo de entrada e um ângulo ou rampa de retorno que permite a inserção e separação dos componentes. A união irreversível (Figura 4.8a) é autotravante pois incorpora um ângulo de retorno de  $90^\circ$  que impede a desmontagem dos componentes. Os ângulos de entrada e de retorno podem ser utilizados como um meio de controlar a intensidade das forças de montagem (inserção) e desmontagem, para uma dada geometria do engate.

Uniões por meio de engates integrais anulares são mais comumente utilizadas com materiais dúcteis ou flexíveis. As forças necessárias para unir e desunir os componentes podem ser extremamente elevadas se constituídos por materiais rígidos.

Conforme ROTHEISER (1999), engates integrais anulares são, para a maioria dos componentes, mais fortes do que os engates integrais viga e gancho, os quais serão discutidos mais adiante. Eles também requerem forças de maior magnitude para a execução da união. Contudo a força para montagem pode ser reduzida através do uso de calor para expandir o componente mais externo ou então resfriar o componente interno, do mesmo modo como é feito para as uniões por interferência.

Este tipo de engate é muito utilizado em recipientes para armazenamento de comida, embalagens cosméticas e tampas de canetas.

### **B - Engates esfera e embocadura**

Os engates desse tipo são na realidade uma modificação dos engates anulares, conforme ilustrado na Figura 4.9. Sua utilização é comum em brinquedos.

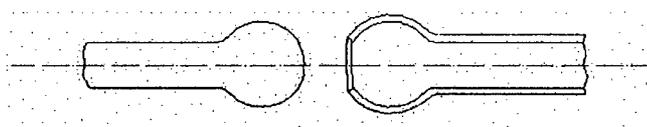


Figura 4.9 - Engate integral esfera e embocadura.

### **C - Engates viga e gancho**

Este é o tipo de engate integral mais utilizado. Consiste de uma viga cantilever dotada de uma protusão ou gancho na extremidade livre, que sofre uma deflexão de modo a se encaixar em um furo no componente a ser unido. As uniões por meio de engates integrais do tipo viga e gancho podem ser projetadas para serem permanentes ou desmontáveis com vários graus de dificuldade dependendo dos requisitos da aplicação, conforme representado na Figura 4.10, e podem ser moldados diretamente no componente nas posições desejadas.

A montagem ilustrada na Figura 4.10a é permanente ou inseparável, enquanto que a da Figura 4.10b pode ser desmontável. Nesta, as forças de inserção e separação dos componentes tem a mesma intensidade, pois os ângulos de entrada e retorno são iguais, e os componentes são facilmente desmontados com simples puxão axial. Forças de inserção de baixa intensidade são desejáveis do ponto de vista da montagem. Muitas vezes, uma força de separação de alta intensidade é desejável para dificultar a desmontagem do produto em serviço. Uma boa alternativa para esse caso é usar ângulos de retorno de  $90^\circ$ , combinados com provisões para desmontagem, como ilustrado na Figura 4.10c. A solução proposta, ao mesmo tempo em que dificulta a desmontagem acidental do produto durante o uso, possibilita a desmontagem para reparo ou manutenção.

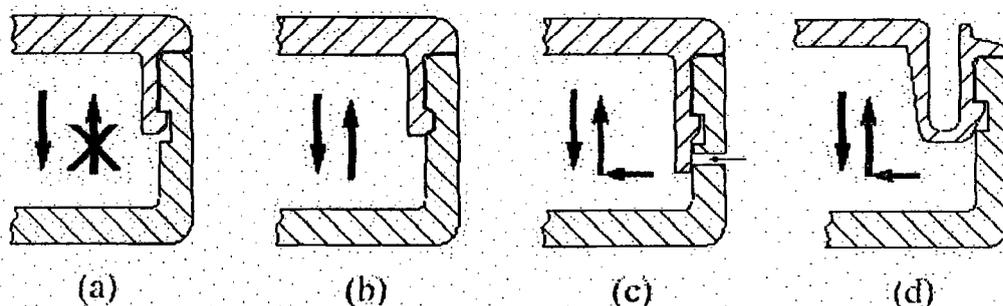


Figura 4.10 - Engates integrais viga e gancho.

Engates viga e gancho com ângulos de retorno de  $90^\circ$ , conforme ilustrado na Figura 4.11 não podem ser separados com um simples puxão axial. Para que ocorra a desmontagem, uma deflexão manual deve ser empregada. Porém, se essa deflexão for excessiva, o engate poderá quebrar. Para que isso seja evitado, batentes limitadores de deflexão podem ser utilizados.

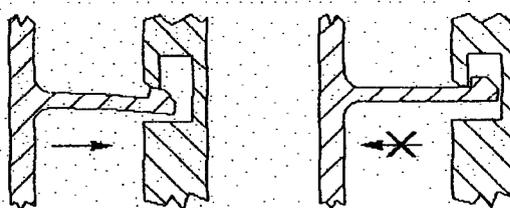


Figura 4.11 - Engate integral viga e gancho.

Vigas cantilever em formato de U, representadas nas Figuras 4.10d e 4.12 são muito empregadas para a montagem de tampas de acesso ao compartimento de pilhas em controles remotos. Podem ser projetadas para evitar quebra devido à excessiva deflexão. Isso é conseguido

através do controle de variáveis de projeto tais como profundidade do furo de encaixe, espessura de parede, comprimento e raio de curvatura. Grandes deflexões podem ser obtidas usando esse tipo de engate integral.

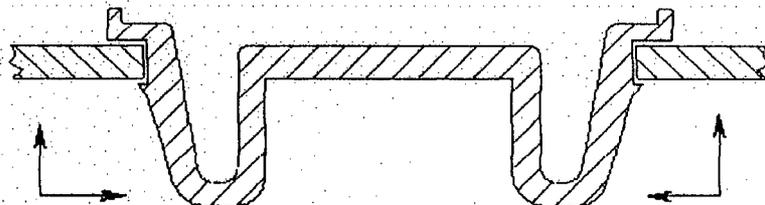


Figura 4.12 - Engate integral viga e gancho com formato U.

Segundo MALLOY (1994), as forças de inserção e separação são de suma importância em todas as aplicações que envolvem engates do tipo viga e gancho. Variáveis geométricas tais como comprimento de viga e ângulo de inclinação exercem um efeito muito grande sobre essas forças.

#### 4.2.4 - Fixadores mecânicos

Atualmente, uma grande variedade de fixadores mecânicos está disponível para a união de componentes de plástico injetado. Muitos destes fixadores foram originalmente desenvolvidos para unir componentes de metal ou madeira e foram simplesmente adaptados para o uso com materiais plásticos, enquanto que outros foram desenvolvidos especificamente para a união de componentes de plástico.

São os seguintes os principais tipos de fixadores mecânicos utilizados para componentes de plástico injetado: parafusos, insertos rosqueados e rebites.

Certos tipos de fixadores mecânicos podem ser utilizados para produzir uniões reversíveis ou desmontáveis que permitem reparo, manutenção e facilitam a reciclagem dos componentes. Por outro lado, existem fixadores mecânicos que produzem uma união permanente.

Os fixadores mecânicos provêm uma rápida e efetiva união para componentes termoplásticos e termofixos, constituídos de materiais similares ou dissimilares. Segundo ROTHEISER (1999), os fixadores mecânicos podem ser utilizados para unir quaisquer combinações de materiais, tanto termoplásticos, quanto termofixos. Ainda segundo o referido

autor, os principais competidores dos fixadores mecânicos para unir materiais termofixos são os adesivos.

Quase todos os fixadores mecânicos são feitos em metal, e como resultado disso, tem dimensões e propriedades que são aproximadamente independentes da temperatura, tempo e umidade relativa. Fixadores de aço inoxidável ou materiais plásticos podem ser usados em aplicações expostas à alta umidade e corrosão. Parafusos de plástico também são úteis em aplicações que requerem vedação, proteção de superfícies pintadas e isolamento elétrico.

Fixadores mecânicos rosqueados tais como parafusos de máquinas e parafusos auto-atarraxantes são ideais para utilização onde controle de pré-carga é requerido, assim como em uniões vedantes a fluidos usando para tanto uma combinação de gaxetas e parafusos. Outra vantagem das uniões obtidas através de fixadores mecânicos é que a resistência plena da união é alcançada instantaneamente, ao contrário das uniões por adesivos.

Os fixadores mecânicos são as vezes utilizados em conjunto com adesivos para a união de grandes componentes de plástico. Os fixadores mecânicos atuam como posicionadores, mantendo os componentes unidos na posição de montagem enquanto o adesivo sofre a cura, bem como adicionam uma medida de segurança durante a vida em serviço do produto.

Os fixadores mecânicos entretanto, devem ser utilizados com cautela visto que a maior parte destes fixadores provocam acúmulo considerável de tensões nas regiões onde são posicionados. Em adição, muitos destes fixadores envolvem o uso de furos, o que provoca problemas de concentração de tensões e formação de linhas de solda nos componentes plásticos.

Como mencionado anteriormente, fixadores mecânicos feitos de metais, tais como alumínio, latão, ou aço apresentam boa estabilidade dimensional, entretanto, os materiais plásticos a serem unidos podem ser exatamente o contrário. Isto resultará em uma expansão térmica desigual a qual deve ser cuidadosamente considerada no projeto da união. Resinas fenólicas ou outros termofixos com um coeficiente de expansão térmica similar aos metais podem não ser severamente afetados, porém um problema real pode ser encontrado com termoplásticos tais como poliestireno, o qual, conforme MALLOY (1994), apresenta um coeficiente de expansão térmica de 6 a 7 vezes maior do que o aço. Outra desvantagem associada com o uso de fixadores mecânicos é a necessidade de componentes adicionais. Este problema é especialmente ampliado quando são usados insertos moldantes, sendo que alguns fornecedores recomendam usar estes insertos somente com materiais reforçados, os quais apresentam menor expansão térmica. A seguir são apresentados os principais tipos de fixadores mecânicos:

## A - Parafusos

Parafusos são a categoria mais amplamente utilizada de fixadores mecânicos para a união de componentes de plástico injetado. Parafusos são geralmente usados em aplicações onde uma união reversível ou desmontável é requerida, ou seja, utilizados para aplicações que requerem desmontagem para reparo, manutenção ou substituição de componentes, seguido de remontagem.

Parafusos conferem um método simples, rápido, e efetivo para unir os mais variados tipos de materiais termoplásticos e termofixos, tanto similares quanto dissimilares.

Os fixadores estão disponíveis em uma ampla variedade de tamanhos e materiais.

Parafusos simples e parafusos passantes, produzidos de materiais termoplásticos tais como náilon 6/6, policarbonato, acetal, polipropileno, politetrafluoretileno e poliamida, estão também disponíveis em configurações padronizadas. Parafusos de plástico são também disponíveis com núcleo ou alma de aço. O uso destes fixadores é limitado pela reduzida resistência do material. Parafusos plásticos são idealmente apropriados para aplicações expostas à alta umidade e corrosão; evitam a danificação de superfícies pintadas. São usados também em aplicações especiais que requerem resistência química especialmente à ação de ácidos e bases, ou isolamento elétrico. O uso de parafusos plásticos para a união de componentes de plástico também parece ser uma boa alternativa para resolver problemas de desigualdade de expansão térmica e aperto excessivo associados com parafusos de aço. Entretanto, o custo maior dos parafusos plásticos em relação aos parafusos metálicos restringe a sua utilização.

Parafusos de alumínio, com um coeficiente de expansão térmica em torno de duas vezes o do aço, propiciam uma redução na desigualdade de expansão térmica se comparado aos parafusos de aço. Apresentam boas propriedades mecânicas, porém, tem um custo relativamente alto.

Conforme MALLOY (1994), estes fixadores rosqueados provem infinito controle sobre pré-carga de montagem. Existem muitos tipos e configurações de parafusos que podem ser utilizados para unir componentes de plástico injetado. Existem 3 categorias principais:

- Parafusos passantes, usados em conjunto com porcas e arruelas;
- Parafusos simples usados em conjunto com roscas moldadas/usinadas;
- Parafusos autoatarraxantes.

Parafusos podem ser removidos rapidamente através de ferramentas pneumáticas, ou nos casos onde a rosca de encaixe é um material plástico, os parafusos podem ser puxados do orifício usando força bruta.

## A.1 - Parafusos passantes

Parafusos passantes associados com porcas e arruelas são comumente utilizados para montagem de componentes de plástico injetado, conforme mostrado na Figura 4.13. Seu uso é limitado para aplicações onde a aparência do produto não é importante, visto que ambos a porca e a cabeça do parafuso estão expostas e prontamente visíveis. A cabeça do parafuso passante e a porca estão geralmente posicionados abaixo da superfície do componente, em recessos de modo a melhorar a aparência do produto. Às vezes, componentes de fixação decorativos, tais como porcas de remate, são utilizados como uma alternativa para melhorar a aparência do produto.

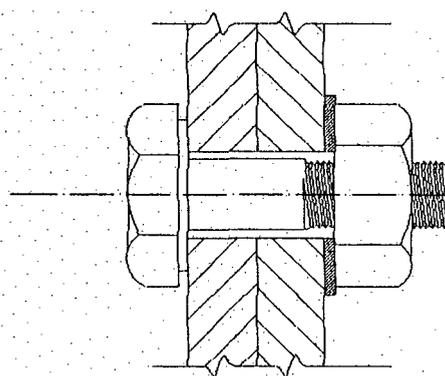


Figura 4.13 - Parafuso passante.

Parafusos passantes e porcas são fixadores mecânicos convencionais e estão prontamente disponíveis em uma ampla variedade de tamanhos e formas.

A maior desvantagem associada com o seu uso são os requisitos para acesso às superfícies dos componentes durante a montagem e desmontagem. São as superfícies onde estão posicionadas a cabeça do parafuso e a porca. Combinando-se essa dificuldade com a necessidade de rotação, o manuseio e a automação do processo de montagem tornam-se extremamente difíceis. Para a instalação, deve haver acesso livre em ambos os lados da união.

Para unir componentes de superfícies de união planas, a união é produzida por meio de furos moldados ou perfurados nos componentes.

Um dos maiores problemas encontrados quando parafusos passantes são usados para unir componentes de plástico injetado, é a expansão térmica desigual. O coeficiente de expansão térmica linear para maior parte dos materiais plásticos é maior do que o do aço. Uma vez que o produto é montado, mudanças de temperatura ambiente induzirão a um aumento ou decréscimo no nível de tensão de compressão. Num extremo de temperaturas muito baixas, o material

plástico poderá contrair tanto que o nível de tensão aplicado no momento da montagem cairá para zero, resultando em uma perda de pressão de aperto e potencial de afrouxamento por vibração. Por outro lado, temperaturas mais altas induzem a uma situação onde a expansão térmica do material plástico é restringida. Se os dois componentes a serem unidos forem produzidos com materiais dissimilares, tendo diferentes coeficientes de expansão térmica, então juntas de expansão, fendas ou estropo elastomérico podem ser utilizados para acomodar a expansão térmica diferencial entre os componentes.

Quando parafusos passantes e porcas são usados para unir componentes de plástico injetado, muitas vezes castelos cilíndricos e ocos devem ser incorporados aos componentes, conforme Figura 4.14, de modo a prover suporte local ao redor do parafuso, prevenindo assim, excessiva deflexão superficial quando o parafuso é apertado. Segundo MALLOY (1994), os castelos devem apresentar uma folga diametral em relação aos parafusos de modo a facilitar a montagem e suportar variações de temperatura e tolerâncias. A espessura de parede do castelo deve ser suficiente para prover resistência à compressão e estabilidade estrutural.

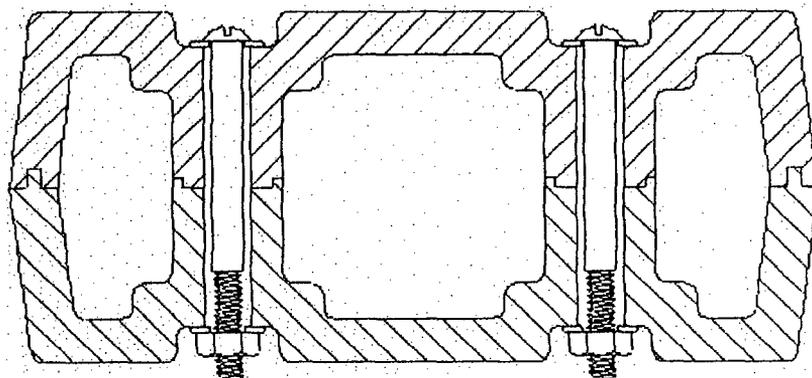


Figura 4.14 - Parafusos passantes em castelos cilíndricos.

Os parafusos passantes requerem espessuras de paredes para os castelos menores do que as exigidas para insertos rosqueados e parafusos autoatarraxantes. As espessuras de paredes menores diminuem a tendência à formação de rechupes por contração do material nas superfícies externas do componentes injetados. Os materiais termoplásticos são mais vulneráveis ao surgimento de rechupes. Os materiais termofixos e termoplásticos reforçados são muito menos suscetíveis à formação de rechupes.

Os parafusos passantes tipicamente recebem uma pré-carga durante a montagem. Isto é feito para compensar a desigualdade de expansão térmica, empenamento ou variação

dimensional, para comprimir uma gaxeta, ou para minimizar o potencial de afrouxamento devido ao relaxamento de tensões ou vibrações. Na maior parte dos casos, os parafusos são fabricados em aço, e o potencial de danificação ou estrago dos componentes de plástico devido a aperto excessivo pode ser muito alto. Isso é especialmente preocupante quando ocorrem frequentes desmontagens e remontagens para execução de manutenção ou reparo, onde pode não haver controle sobre a intensidade do torque de aperto. A melhor solução para este problema é usar buchas cilíndricas ocas ao redor dos parafusos passantes. Estas buchas ou luvas podem ser simplesmente insertados, inseridos, ou moldados dentro dos castelos, limitando a compressão do material plástico. Uma boa prática é usar arruelas sob as cabeças dos parafusos e sob a porca, para distribuir o carregamento sobre uma área levemente maior, reduzindo assim a concentração de tensões.

Conforme MALLOY (1994), a parte inferior das cabeças dos parafusos usados para unir componentes de plástico injetado, deve preferencialmente possuir uma arruela plana integrada. Parafusos com cabeças cônicas ou escareadas devem ser evitados, pois seu uso provoca altas tensões de tração.

Quando o parafuso sofre o aperto ou pré-carga, os componentes plásticos que formam a união ficam em compressão e o parafuso em tração. Os níveis de tensões de compressão locais que são desenvolvidos durante a montagem podem ser extremamente altos, e devem ser estimados teoricamente e experimentalmente, para assegurar que a união é adequada para a aplicação para a qual foi destinado.

Parafusos são geralmente usados para a obtenção de uniões estáveis e destinadas a uma longa vida em serviço, e como resultado, é importante levar em consideração os efeitos de relaxamento de tensões. Arruelas planas convencionais para distribuição de cargas podem ser usadas em combinação com arruelas de travamento para contrabalançar os efeitos de relaxamento de tensões ou variações dimensionais termicamente induzidas.

Ao longo do tempo o valor de tensão de compressão nos componentes diminuirá devido aos efeitos de relaxamento de tensões. Entretanto, as vantagens mecânicas associadas com parafusos, podem induzir a níveis muito altos de tensão nos componentes plásticos, muitas vezes resultando na falha do componente quando tensões de serviço são sobrepostas às tensões de montagem.

O nível de tensão de compressão nos componentes de plástico muda continuamente com a temperatura devido à desigualdade de expansão térmica.

## A.2 - Parafusos simples

São usados em aplicações que requerem poucas desmontagens. Conforme FRADOS (1976), o número de operações de desmontagens/resmontagens deve ser inferior a seis. Parafusos simples também são usados em aplicações onde as especificações estéticas exigem uma aparência superficial ininterrupta lisa, ou em aplicações onde acessibilidade é um problema.

Estes parafusos são inseridos em roscas previamente moldadas ou usinadas no material plástico. Um exemplo de união através de parafusos simples encontra-se representado na Figura 4.15.

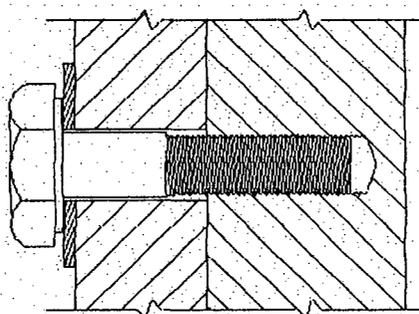


Figura 4.15 - Parafuso simples.

A principal vantagem de incorporar uma rosca diretamente no material plástico reside no fato de que elimina a necessidade do uso de porcas e arruelas associadas. Segundo MALLOY (1994), as roscas para inserção dos parafusos podem ser moldadas diretamente nos componentes plásticos quando parafusos de diâmetros maiores do que 6.35 mm são usados. Entretanto, isto aumenta significativamente a complexidade dos requisitos de ferramentaria e das operações de moldagem dos componentes devido as dificuldades associadas com a ejeção dos furos rosqueados.

Como uma alternativa tanto para parafusos pequenos e grandes, as roscas também podem ser usinadas em um furo piloto, previamente moldado ou usinado. Essa operação secundária consome uma grande quantidade de tempo e não tem um custo atrativo na maioria dos casos, especialmente quando a durabilidade limitada das roscas de plástico é considerada, se comparadas a maior durabilidade de uma união com inserto metálico. As roscas usinadas nos materiais termoplásticos devem apresentar uma folga em relação às roscas dos parafusos, de modo a compensar as diferenças existentes entre os coeficientes de expansão térmica.

### A.3 - Parafusos autoatarraxantes

Conforme ROTHEISER (1999), os parafusos autoatarraxantes são os fixadores mecânicos mais comuns e de menor custo disponíveis para unir componentes de plástico injetado. São indicados para aplicações que requerem acesso somente em um dos lados da união. Não são recomendados, entretanto, quando são requeridas freqüentes desmontagens. A remontagem é geralmente limitada em torno de 5 ou 6 vezes. Componentes de plástico injetado unidos com esses tipos de parafusos, são facilmente desmontados para reciclagem mediante ferramentas pneumáticas de alta velocidade.

A primeira vantagem do uso desses parafusos refere-se ao fato de construírem uma rosca diretamente no material plástico a ser unido, eliminando a necessidade de utilização de porcas/arruelas ou de insertos rosqueados internamente. Conseqüentemente, minimiza-se o número de componentes requeridos para produzir a união. Este aspecto ajuda a diminuir o tempo e o custo de produção, pois elimina a necessidade de roscas moldadas ou usinadas.

Uma união com parafuso autoatarraxante é mostrada na Figura 4.16. Tipicamente inclui o parafuso e um castelo guia cego com diâmetro interno menor do que o diâmetro externo do parafuso.

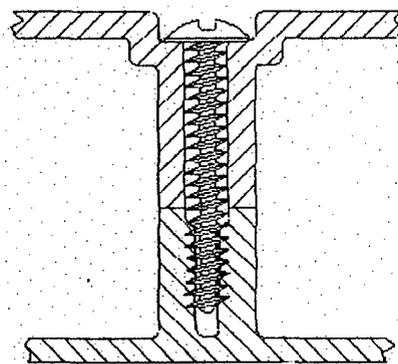


Figura 4.16 - Parafuso autoatarraxante.

Os parafusos estão disponíveis em uma ampla faixa de configurações de rosca, tamanhos, e estilos de cabeça. Os parafusos autoatarraxantes podem ser utilizados em conjunto com arruelas, as quais podem ser integradas as cabeças. As arruelas distribuem a carga de aperto e as tensões da união sobre uma área maior. Arruelas especiais de travamento podem ser utilizadas para evitar afrouxamento do parafuso devido às vibrações.

Muitos dos parafusos autoatarraxantes padronizados que são utilizados com materiais plásticos, tem sido utilizados por muitos anos com outros materiais. Alguns parafusos trabalham bem com materiais plásticos enquanto que outros não são muito adequados.

À medida que o parafuso vai construindo a rosca no material plástico, o valor do torque vai subindo suavemente devido a resistência friccional associado com engajamento mais profundo, até o momento em que a cabeça deste esteja assentada. A partir desse ponto, o aperto prossegue, sendo que o torque sobe rapidamente até se atingir um valor de torque de aperto recomendado. Se torque ainda for aplicado, ocorre aumento da intensidade de cargas cisalhantes sobre a rosca formada no material plástico, que pode alongar excessivamente, e eventualmente espanar.

Para reparar a rosca espanada, utilizam-se parafusos de comprimento ou diâmetro maiores. Outros modos de falha incluem o cisalhamento do castelo abaixo do parafuso e formação de rachaduras no castelo, Os valores do torque de aperto dependem sobretudo do coeficiente de fricção entre o parafuso e o material plástico. Este coeficiente de fricção é altamente dependente da temperatura superficial, das tensões normais ou perpendiculares, da qualidade superficial e da presença de lubrificante.

Segundo MALLOY (1994), quando utilizados adequadamente, parafusos autoatarraxantes conferem a mais alta resistência à remoção ou retirada forçada.

Parafusos autoatarraxantes podem ser classificados em duas categorias: Parafusos cortadores de rosca e parafusos formadores de rosca. Segundo ROTHEISER (1999), o módulo de elasticidade do material é o melhor indicador de qual categoria de parafuso é mais adequada para uso com um polímero específico.

### **A.3.1 - Parafusos cortadores de rosca**

Estes parafusos cortam roscas à medida que são forçados no furo piloto do castelo. Estes parafusos padronizados, são ilustrados na Figura 4.17. Todos possuem ângulo de rosca de 60°. Estes parafusos possuem gumes cortantes ou gumes cortantes fendidos. Os cavacos de plástico gerados durante o deslocamento de material caem no fundo do furo cego do castelo, onde ficam armazenados. Conforme ROTHEISER (1999), são mais comumente utilizados para unir materiais termoplásticos ou termofixos rígidos com módulo de elasticidade compreendido entre 2800 a 6900 MPa.

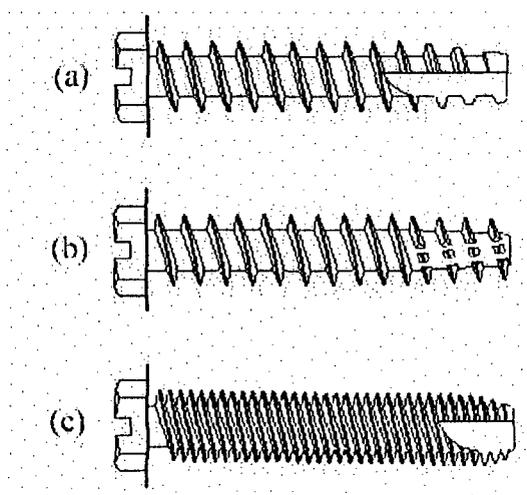


Figura 4.17 - Parafusos autoatarraxantes cortadores de rosca.

O tipo BT (Figura 4.17a) representa o padrão mais comum, devido a seu amplo espaçamento de rosca e generoso gume cortante. O tipo BF (Figura 4.17b) também tem amplo espaçamento de rosca, entretanto, os gumes cortantes fendidos podem tender a emperrar quando usados com polímeros mais macios. A série B tem sido usada com materiais que tem valores de módulo de elasticidade tão baixos quanto 1380 MPa. O tipo T (Figura 4.17c) pode ser usado em plásticos reforçados com fibra de vidro que possuem módulo de elasticidade maiores do que 6900 MPa. Infelizmente, as roscas que são cortadas nestes materiais plásticos muito duros e rígidos tendem a granular durante montagem/remontagem.

Em geral, para parafusos desta categoria, os valores de torque de inserção (o valor máximo é obtido quando a cabeça do parafuso está assentada) e o torque necessário para causar espanamento da rosca no material plástico, são menores do que nos parafusos formadores de rosca. Os níveis de tensões residuais associados com o seu uso são relativamente baixos, ao contrário dos parafusos formadores de rosca, tornando-os adequados para uso com materiais vítreos e amorfos, sujeitos a rachaduras.

Os parafusos cortadores de rosca devem somente ser utilizados em aplicações onde o potencial para desmontagem/remontagem é muito limitado visto que a resistência da união deteriora rapidamente se um novo conjunto de roscas é cortado durante a remontagem. Para contornar esse problema, parafusos cortadores de rosca com diâmetros externos maiores ou mais longos podem ser usados no lugar dos parafusos cortadores originais, ou então, pode-se usar um parafuso formador de rosca com o mesmo passo de rosca.

### A.3.2 - Parafusos formadores de rosca

Parafusos desta categoria encontram-se ilustrados na Figura 4.18. Não tem capacidade de corte e simplesmente produzem roscas mediante deformação do material plástico a medida que são forçados no interior do furo do castelo. Estes parafusos não apresentam gumes cortantes e não geram cavacos.

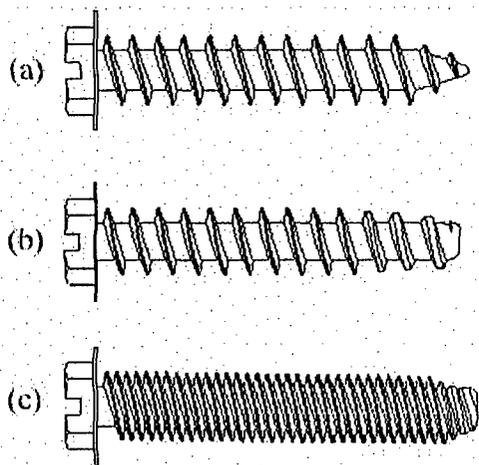


Figura 4.18 - Parafusos autoatarraxantes formadores de rosca.

São geralmente usados para materiais plásticos mais dúcteis ou macios e com um módulo de elasticidade compreendido entre 1400 a 2800 MPa (ROTHEISER, 1999), exceto para alguns acetais e nylon 6/12. A ductilidade e escoamento a frio do material plástico é um pré-requisito para seu uso, entretanto, estudos mostraram que o parafuso tipo B (Figura 4.18b), com seu amplo espaçamento pode também ser usado para unir polímeros rígidos ou reforçados com fibra de vidro, se o castelo for bem projetado. Quando parafusos formadores de rosca são utilizados com polímeros de módulos maiores, a profundidade de rosca utilizada deve ser muito baixa.

Estes parafusos são padronizados com ângulos de rosca de  $60^\circ$  e geram altas deformações radiais, resultando em altos valores de tensões residuais. Segundo FRADOS (1976), os parafusos formadores de rosca desenvolvem mais tensões nos componentes plásticos do que os parafusos cortadores de rosca. A compressão do material entre os flancos pode também ser alta. Espaçamentos de roscas maiores, tais como os existentes nos tipos AB (Figura 4.18a) e B (Figura 4.18b), são recomendados para a maioria das aplicações.

O nível de tensões no castelo de plástico é devido a vários fatores, incluindo o torque aplicado para a montagem, tensões induzidas pelo fixador durante a operação de inserção e

tensões relacionadas às condições de serviço. As tensões induzidas pelo torque aplicado sobre o parafuso podem ser controladas mediante alteração do procedimento de aperto, enquanto que as tensões induzidas pelo fixador podem ser controladas através do uso de tipos apropriados de fixadores e tamanho do furo piloto. É difícil, entretanto, manter os níveis de tensão locais dentro de limites seguros com polímeros rígidos cristalinos. As tensões residuais combinam-se com tensões induzidas por cargas de serviço, podendo conduzir a uma falha prematura e queda da performance química.

Como resultado, estes parafusos auto-atarraxantes são geralmente usados para unir polímeros semi-cristalinos mais dúcteis ou termoplásticos amorfos endurecidos, onde as tensões residuais podem cair para um nível aceitável. Infelizmente, em plásticos mais rígidos, as tensões residuais tendem a permanecer. Estas tensões residuais em adição com outros carregamentos podem conduzir a uma eventual falha do componente plástico.

Os parafusos formadores de rosca são sugeridos para aplicações que podem requerer mais de uma desmontagem.

O formato dos filetes permite que a rosca do parafuso sobreponha-se sobre a rosca existente no furo durante a re-inserção, evitando-se a formação de um segundo conjunto de roscas ou cruzamento destas.

Segundo MALLOY (1994), estes parafusos são geralmente mais baratos do que os parafusos cortadores de rosca.

### **A.3.3 - Parafusos autoatarraxantes especiais**

Existem variedades especiais de parafusos cortadores de rosca e parafusos formadores de rosca especialmente projetados para unir materiais plásticos. Alguns dos mais significativos melhoramentos em relação aos modelos tradicionais de parafusos autoatarraxantes incluem-se o maior espaçamento entre filetes de rosca e menores ângulos de flanco da rosca. Os menores ângulos de rosca, inferiores a  $60^\circ$  (geralmente  $30^\circ$  ou  $45^\circ$ ), resultam em tensões radiais menores e diminuem a tendência de ocorrer quebra ou rachaduras no castelo, o que permite o uso de paredes mais finas para o castelo. O espaçamento maior entre os filetes de rosca reduz as deformações compressivas existentes entre eles. São os seguintes os principais tipos de parafusos autoatarraxantes especiais:

- **HI-LO**: Está disponível nas versões cortadoras de rosca e formadoras de rosca. Exemplos de parafusos cortadores e formadores de rosca são mostrados respectivamente nas Figuras 4.19a e

4.19b. Ambos possuem dois ângulos de rosca (30 e 60°). A combinação dos dois ângulos permite menor torque de inserção, enquanto produz alta resistência à tração ou força axial e moderada resistência à espanamento ou cisalhamento da rosca do material plástico.

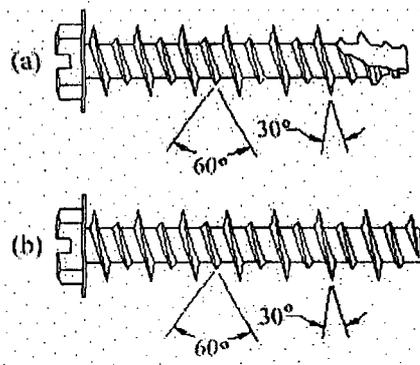


Figura 4.19 - Parafusos autoatarraxantes HI-LO.

- **Plastite:** Este é o único parafuso formador de rosca que tem uma seção transversal aproximadamente triangular, e a configuração mais comum tem um ângulo de rosca de 45°. Um exemplo deste parafuso é apresentado na Figura 4.20. Este parafuso provém alto torque para remoção, o que o torna ideal para aplicações sujeitas a vibrações. Após a instalação, o fluxo a frio do material plástico efetivamente trava o parafuso na posição, aumentando a resistência ao afrouxamento.

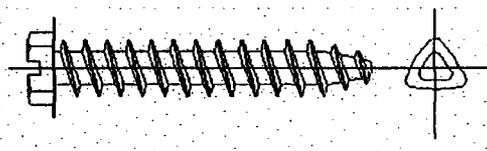


Figura 4.20 - Parafuso autoatarraxante Plastite.

- **PT:** Este parafuso formador de rosca é mostrado na Figura 4.21. Apresenta um ângulo de rosca de 30°. Possui uma raiz modificada, a qual melhora o fluxo do material plástico durante a operação de formação da rosca.

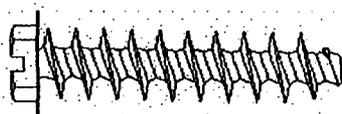


Figura 4.21 - Parafuso autoatarraxante PT.

#### A.4 - Parafusos prisioneiros

Um parafuso prisioneiro é mostrado na Figura 4.22. É utilizado para unir dois componentes. Os parafusos prisioneiros apresentam somente uma extremidade livre. O segundo componente de plástico injetado, o qual contém um furo passante, é posicionado sobre a extremidade livre de rosca simples. Uma porca é então rosqueada de modo a realizar o aperto da união.

A outra extremidade do parafuso prisioneiro fica escondida no interior de um dos componentes, sendo inserida através dos seguintes processos utilizados analogamente para insertos metálicos: inserção por interferência à frio, inserção ultrasônica, inserção térmica, e colocação do prisioneiro no molde para que o material plástico seja moldado ao redor deste.

São recomendados para aplicações que requerem freqüentes montagens/ desmontagens. Em tais situações, o uso de outros tipos de parafusos acabaria danificando a rosca dos furos.

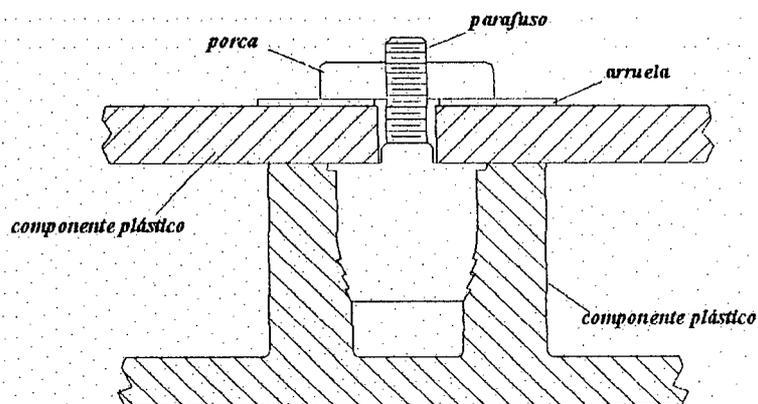


Figura 4.22 - Parafuso prisioneiro.

Existem também parafusos prisioneiros com duas roscas: uma rosca de parafuso simples e uma rosca autoatarraxante. As duas extremidades estão separadas por uma cabeça do tipo plana. Durante a instalação, a extremidade autoatarraxante é inserida no castelo de plástico, deixando exposta a extremidade de rosca simples. A extremidade autoatarraxante é inserida através dos seguintes processos utilizados analogamente para insertos metálicos: inserção por interferência à frio, inserção ultrasônica, inserção térmica, e colocação do prisioneiro no molde para que o material plástico seja moldado ao redor deste. O segundo componente de plástico injetado, o qual contém um furo passante, é posicionado sobre a extremidade de rosca simples. Uma porca é então rosqueada de modo a realizar o aperto da união.

## B - Rebites

Rebitagem é uma técnica simples e popular usada para unir componentes. Entretanto, cuidados devem ser tomados para se evitar altas concentrações de tensões inerentes a maioria das técnicas de rebitagem.

Rebites feitos de metal ou de plástico podem ser usados para unir componentes com segurança, ou para segurar e unir dois ou mais componentes e permitir movimento de rotação entre eles. Porém, é importante ressaltar que os rebites não são muito recomendados para unir componentes de plástico injetado que apresentam movimento relativo entre si, porque eles tensionam as estruturas ao ponto em que o material plástico deforma com o passar do tempo, o que pode resultar em um afrouxamento da união.

Rebites de alumínio são preferidos em relação aos de aço, visto que o alumínio deformará mais prontamente sob altas tensões, facilitando a instalação.

Os rebites são notáveis por seu baixo custo e instalação mecânica simples facilitada pela automação, contudo sua resistência em tração e cisalhamento pode ser menor do que aquela verificada nos fixadores rosqueados.

A principal desvantagem associada com o uso de rebites, é o fato de que são fixadores mecânicos permanentes. Eles não podem ser removidos sem sua destruição; às vezes, os componentes da união são danificadas enquanto o rebite está sendo removido. O uso dos rebites deve portanto ser evitado em quaisquer aplicações que exigem desmontagem para a realização de manutenção ou reparo.

Altas cargas de aperto são limitadas, e a precisão do posicionamento não é tão boa quanto em outros fixadores mecânicos.

Os rebites podem ser instalados de modo a permitir mudanças dimensionais devido à temperatura. Deve haver uma folga entre o corpo do rebite e o furo onde este está alojado, de maneira a facilitar a montagem e compensar tolerâncias e diferenças entre os coeficientes de expansão térmica. Rebites são particularmente aplicados para uso com plásticos de alta resistência a impactos.

Rebites dotados de cabeças de grandes diâmetros e arruelas de reforço são sugeridas para distribuir as tensões, assim como todas as extremidades pontiagudas dos rebites, arruelas e componentes devem ser arredondadas. Isto é mostrado na Figura 4.23. As arruelas são indicadas para obter resistência máxima, especialmente em juntas rebitadas constituídas por materiais frágeis ou para reforçar seções esbeltas ou estreitas.

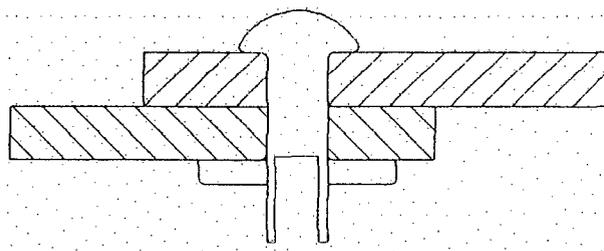


Figura 4.23 - Rebite instalado com arruela de reforço.

Os rebites estão disponíveis em uma grande variedade de configurações, sendo encontrados em uma ampla variedade de diâmetros, comprimentos e com vários estilos de cabeça.

As considerações de projeto da união variam com o tipo de rebite utilizado e com os tipos de materiais dos componentes a serem unidos.

O uso dos rebites está declinando ao longo dos anos, principalmente devido ao desenvolvimento de parafusos de alta resistência para numerosas aplicações. Além disso, enfrenta a competição dos processos de soldagem, os quais podem produzir uniões confiáveis.

Os rebites também podem ser feitos em material plástico. Apresentam várias vantagens: resistência química ao meio ambiente e a agentes biológicos; são isolantes térmicos e elétricos; a união pode ser feita rapidamente sem danificar pinturas, polimentos ou acabamentos; podem ser transparentes ou opacos em uma ampla variedade de cores. Os principais materiais plásticos utilizados para rebites são náilon, acetato, polipropileno, polietileno e policarbonato.

Há duas famílias básicas de rebites: rebites tubulares e rebites cegos. A principal diferença entre esses dois tipos de rebites reside no fato de que os rebites cegos necessitam de acesso em somente um dos lados da união para a sua instalação. Abaixo são descritos os principais tipos de rebites:

## **B.1 - Rebites tubulares**

Os rebites tubulares classificam-se em quatro tipos:

### **B.1.1 - Rebites pequenos**

Rebites pequenos são classificados em muitas categorias, mas as duas mais importantes são os tipos sólido e tubular. O tipo sólido não é recomendado para materiais plásticos, pois são

instalados através de golpes, o que pode resultar em deformação ou quebra dos componentes da união. Para a execução da montagem, deve haver acesso claro e adequado em ambos os lados da junta.

Os rebites pequenos podem ser semitubulares (Figura 4.24b) e totalmente tubulares (Figura 4.24a). Os rebites semitubulares são os rebites mais amplamente utilizados. Ambos os tipos não devem ser utilizados em tração, porém suas resistências à compressão e cisalhamento são similares aos rebites sólidos. A resistência dos rebites totalmente tubulares ao cisalhamento é menor do que aquela dos rebites semitubulares.

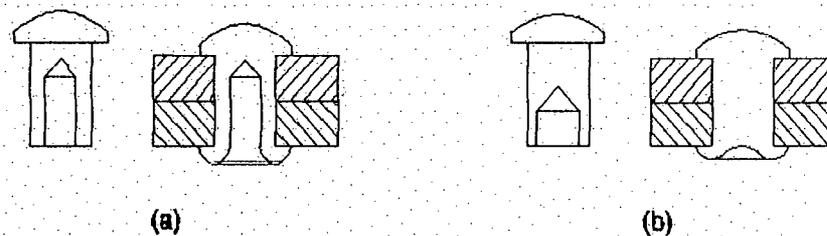


Figura 4.24 - Rebites tubulares pequenos.

### B.1.2 - Rebites de compressão

Rebites de compressão são formados por dois membros, um rebite sólido (macho) e um componente tubular perfurado internamente (fêmea). As duas partes são pressionadas uma contra a outra na montagem, formando um ajuste por interferência. A Figura 4.25 ilustra as formas do macho e fêmea dos rebites de compressão; geralmente são de cabeça plana.

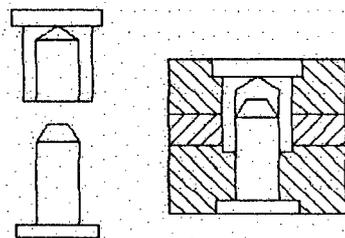


Figura 4.25 - Rebite tubular de compressão.

Rebites de compressão são comumente utilizados quando a aparência de ambos os lados da união deve ser uniforme, e quando as cabeças produzidas devem estar niveladas ao plano da união para evitar a acumulação de sujeira ou resíduos.

Estes rebites podem ser usados para unir plásticos frágeis, com reduzido risco de ocorrência de rachaduras nos componentes durante a instalação.

### B.1.3 - Rebites bifurcados

Estes rebites são puncionados de modo a produzir dentes que fazem seus próprios furos através do material. São utilizados para unir materiais macios. Um exemplo é mostrado na Figura 4.26a.

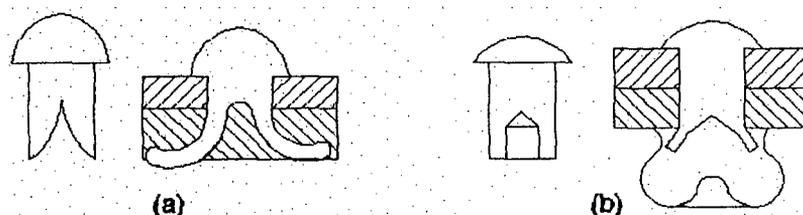


Figura 4.26 - Rebite bifurcado (a) e rebite perfurante (b).

### B.1.4 - Rebites perfurantes

São rebites metálicos muito semelhantes aos rebites semitubulares, conforme a Figura 4.26b. São rebites de grande resistência mecânica.

## B.2 - Rebites cegos

Dentre os tipos de rebites usados para unir componentes de plástico injetado, os rebites cegos são provavelmente os mais comuns. Os rebites cegos estão disponíveis em metal e plástico.

Rebites cegos são mais comumente inseridos e completamente instalados em uniões as quais são somente acessíveis de um único lado, ao contrário dos outros tipos de rebites. Entretanto, os rebites cegos não estão limitados para aplicações onde existe acesso para montagem em somente um dos lados da união.

O lado cego deste tipo de rebite é mecanicamente expandido para formar a outra cabeça, produzindo assim uma união permanente.

A habilidade que os rebites cegos possuem de serem instalados a partir de somente um dos lados da união tem permitido seu uso em um amplo campo de aplicações de fixação. Na

Figura 4.27 apresenta-se um exemplo de rebite cego de expansão, antes e após a instalação. Há uma grande variedade de rebites cegos disponíveis, sendo que essencialmente eles são constituídos de um corpo oco e um pino sólido.

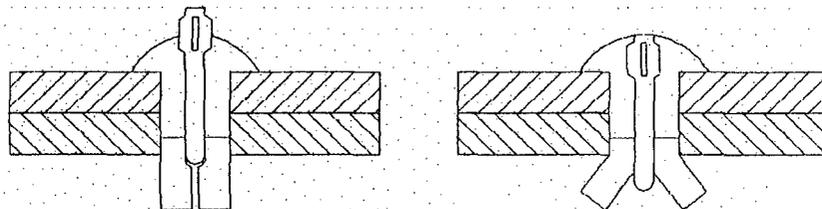


Figura 4.27 - Rebite cego.

Segundo BRAYCHAK (1991), os rebites cegos oferecem grande vantagem em aplicações sujeitas a vibrações, se comparados às uniões soldadas, coladas e aparafusadas. Os fixadores rosqueados tem a tendência a afrouxar sob vibração. Além disso, o tempo de instalação de um rebite cego é significativamente mais rápido se comparado ao tempo requerido para instalar um parafuso passante.

### C - Insertos metálicos rosqueados.

Insertos metálicos com rosca interna são comumente utilizados para unir componentes de plástico injetado destinados para aplicações que requerem múltiplas operações de desmontagens/remontagens.

Através da utilização de insertos metálicos obtém-se uma união durável e de alta qualidade. Os insertos são usados em conjunto com parafusos. São utilizados em aplicações onde existe acesso somente em um dos lados da união e apresentam uma resistência à fluência maior do que os parafusos. Os insertos podem ser moldados nos componentes de plástico ou inseridos em um furo existente no componente injetado.

Segundo ROTHEISER (1999), os insertos metálicos rosqueados não são normalmente utilizados em aplicações que requerem vedações herméticas da união. Isto justifica-se pelo fato de que existe uma diferença significativa nos valores dos coeficientes de expansão térmica entre o material plástico e o inserto metálico. Ainda conforme o referido autor, somente os insertos moldantes podem prover vedações herméticas.

Uma união por meio de inserto rosqueado é mostrada na Figura 4.28. Neste exemplo o inserto dotado de rosca interna, está posicionado no interior do castelo de um dos componentes.

Para que a união dos dois componentes de plástico injetado seja realizada, um parafuso é inserido no castelo e posteriormente apertado.

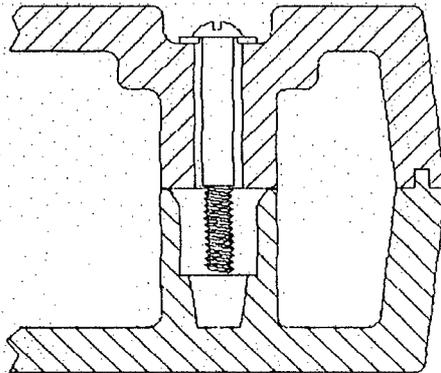


Figura 4.28 - Inseto metálico rosqueado.

Existem os seguintes tipos de insetos metálicos rosqueados:

### C.1 - Insetos rosqueados moldantes

Insetos moldantes são componentes cilíndricos cegos com roscas internas, utilizados para unir dois componentes, e que são colocados dentro de um molde antes da injeção do polímero. Durante a injeção, o polímero fundido flui ao redor do inseto e fixa o inseto na posição desejada à medida que este resfria, contrai e se solidifica.

Conforme ROTHEISER (1999), estes insetos provêm os mais altos níveis de resistência torsional e resistência à tração se comparados a qualquer um dos outros tipos de insetos existentes.

Segundo MALLOY (1994), estes insetos podem adicionar um custo significativo para o produto, e por essa razão, são somente utilizados quando existe uma necessidade funcional e os custos associados com a operação de inserção são justificados. As uniões obtidas caracterizam-se pela alta qualidade e durabilidade, devendo ser considerados para uma aplicação que requer frequentes desmontagens e remontagens. Além disso, esses insetos estão disponíveis em uma ampla variedade de geometrias.

Os insetos são externamente dotados de fendas ou entalhes e recartilhados conforme ilustrado na Figura 4.29. As fendas conferem resistência à remoção axial forçada, enquanto que os recartilhados ou estrias provêm resistência axial e torcional adicionais.

Os insertos mais comumente usados para unir componentes são produzidos em latão, devido à sua resistência à corrosão e boa usinabilidade. Os insertos também podem ser feitos em alumínio e aço inoxidável.

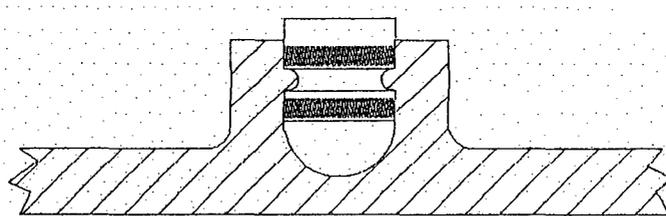


Figura 4.29 - Inserto com entalhes e recartilhados.

O problema mais significativo, associado com o uso de insertos moldantes, é o surgimento de tensões e deformações residuais após a injeção do polímero. Isto ocorre porque o material plástico ao redor do inserto sofre contração durante o período de resfriamento, e essa contração é restringida pela rigidez do inserto metálico. A deformação residual, a qual é essencialmente o valor de contração do molde para o material plástico ao redor do inserto, pode provocar a formação de rachaduras no material plástico ao redor do inserto. Pré-aquecimento do inserto pode reduzir o problema de tensões e deformações residuais pois permite que o inserto contraia juntamente com o material plástico, entretanto, a desigualdade no coeficiente de expansão térmica resulta somente numa redução parcial da deformação residual. Cabe lembrar aqui que a maioria dos materiais plásticos possuem um coeficiente de expansão térmica mais alto do que a maior parte dos metais. É importante levar em consideração as características de relaxamento de tensões do material plástico, juntamente com qualquer mudança de temperatura antecipada no ambiente de serviço, visto que tensões ou deformações devido à desigualdade de coeficiente de expansão térmica irão se sobrepor às tensões e deformações residuais de moldagem.

Componentes constituídos por polímeros que apresentam altos valores de contração podem ser usados com sucesso se também forem dúcteis. Materiais dúcteis e com baixa contração, tais como o ABS, são apropriados para uso com insertos moldantes.

Materiais frágeis, com alta contração, não são adequados. Insertos também não são adequados para materiais com baixa contração, tipo poliestireno devido a sua tendência em sofrer rachaduras e aos baixos valores de deformação de ruptura.

Segundo MALLOY (1994), o uso de insertos moldantes com rosca interna é uma prática comum na moldagem de termofixos, e menos amplamente utilizada com materiais termoplásticos, visto que existem muitos processos de inserção que eliminam muitas das desvantagens associadas com a utilização destes insertos.

Uma das desvantagens associadas com o uso de insertos moldantes é o aumento do ciclo total de injeção, pois é preciso posicionar corretamente o inserto dentro do molde de injeção. Assim, se for requerida alta produtividade, esta classe de insertos não é recomendada. O uso de robôs pode aumentar a velocidade e a repetibilidade do processo.

Se o inserto não estiver na posição previamente estipulada ou suas dimensões estiverem fora das especificações, tanto o componente quanto o molde poderão ser danificados. Os sistemas de fechamento das máquinas injetoras devem ter sensibilidade a baixas pressões para detectar possíveis desalinhamentos que possam danificar o molde, fazendo com que o molde abra antes da injeção.

Uma outra desvantagem associada com o uso de insertos moldantes é a possibilidade de formação de linhas de solda no material que circunda o inserto. Segundo ROTHEISER (1999), a região onde ocorre formação de linha de solda apresenta a menor resistência mecânica no componente. Para evitar esse problema, a espessura de parede ao redor dos insertos deve ser grande o suficiente para que o fluxo de polímero fundido não seja restringido durante a injeção. Os insertos e os pontos de injeção devem ser corretamente posicionados de modo a evitar a formação de linhas de solda (MALLOY, 1994).

Devido à contração do material plástico ao redor do inserto, e à grande diferença nos coeficientes de expansão térmica existentes entre o material plástico e o inserto metálico, os insertos moldantes normalmente não podem prover vedações herméticas. A única maneira de se obter vedações herméticas para esses insertos será através do uso de anéis o-ring, os quais são previamente instalados em fendas ou provisões existentes no inserto. A adoção do anel o-ring acomodará o movimento relativo entre os dois materiais. O anel irá comprimir o polímero a medida que este contrai. Quando o polímero sofrer expansão com o aquecimento, haverá ainda compressão suficiente para criar uma vedação.

## **C.2 - Insertos rosqueados não-moldantes**

Muitas das desvantagens associadas aos insertos moldantes podem ser eliminadas através do uso de insertos colocados no componente após a moldagem. A operação secundária

de inserção é limitada a insertos que apresentam geometrias relativamente simples, geralmente insertos metálicos com rosca interna, que podem ser cegos ou vazados. E para consolidar a união, são utilizados parafusos que sofrem uma posterior operação de torque.

Insertos usados em conjunto com parafusos, resultam em uniões precisas e duráveis, que são apropriadas para aplicações que requerem freqüentes operações de desmontagens/remontagens. O componente de plástico é moldado com furos pilotos dentro dos quais os insertos serão posicionados.

Existem vários processos secundários de inserção para instalar e posicionar os insertos dentro dos furos. Dentre eles tem-se:

### **C.2.1 - Inserção por interferência a frio**

Segundo MALLOY (1994), este é o meio mais simples de inserir um inserto num furo moldado. O inserto é forçado para dentro do furo moldado no componente injetado, fixando-o por interferência, sendo que o diâmetro do furo é levemente menor do que o diâmetro do inserto. Este tipo de inserto pode ser rapidamente instalado com uma simples pressão, ou a instalação pode ser totalmente automatizada. A fricção produzida pela pressão sobre as paredes do furo mantém o inserto na posição.

Os insertos são geralmente inseridos no componente imediatamente após a moldagem, visto que nesta condição o componente está relativamente macio devido ao aquecimento e ainda em processo de contração.

Assim como nas uniões por interferência, essa operação de inserção é mais apropriada para polímeros dúcteis de maior elasticidade. Podem ser utilizados para materiais termoplásticos e termofixos.

Os insertos podem ser externamente lisos ou recartilhados/estriados para conferir ancoragem adicional.

Conforme MALLOY (1994), o uso de inserção por interferência a frio é limitado devido à menor resistência e aos altos níveis de tensões gerados se comparados aos outros processos de inserção. Segundo ROTHEISER (1999), este tipo de inserção não deve ser considerado para aplicações estruturais.

### **C.2.2 - Insertos autoatarraxantes**

Constitui-se num inserto metálico que possui duas roscas: uma rosca interna e uma rosca externa autoatarraxante. Assim como nos parafusos autoatarraxantes, a rosca externa pode ser cortadora ou formadora. Insertos autoatarraxantes produzem roscas à medida que são introduzidos em um furo piloto moldado ou perfurado.

Uma vez na posição, a fricção entre o material plástico e o inserto impede a rotação do mesmo, enquanto que as roscas provem resistência à remoção axial.

Nas roscas internas dos insertos autoatarraxantes são inseridos os parafusos, que sofrem torque de aperto de modo a consolidar a união.

Estes insertos provem uma união durável, sendo portanto adequados para aplicações que requerem freqüentes operações de desmontagens/remontagens. Estão disponíveis em vários tamanhos e configurações de roscas internas e externas.

Os insertos autoatarraxantes podem ser usados com materiais termofixos ou termoplásticos. O tipo específico de material plástico determina a configuração da rosca externa autoatarraxante. Configurações formadoras de rosca são geralmente usadas com termoplásticos dúcteis, enquanto que configurações cortadoras de rosca são geralmente utilizadas com termoplásticos rígidos e termofixos.

Conforme ROTHEISER (1999), os insertos autoatarraxantes requerem um tempo para instalação maior do que nos outros tipos de insertos. Ainda segundo o referido autor, estes insertos são também mais caros e mais fortes do que os insertos expansivos.

### **C.2.3 - Inserção ultrasônica**

A inserção ultrasônica é a técnica mais comumente utilizada para introduzir um inserto no componente após a moldagem deste, sendo restrita aos materiais termoplásticos. A técnica é apropriada para todos os termoplásticos sólidos.

O equipamento utilizado para realizar a soldagem ultrasônica pode ser utilizado para gerar a pressão e calor necessários para a inserção térmica. Nesse processo, o inserto é primeiro posicionado sobre um furo, sendo que o furo possui diâmetro levemente menor do que o diâmetro do inserto. O inserto é empurrado para dentro da bossa ou castelo por uma ferramenta que vibra em uma baixa amplitude e freqüência ultrasônica, enquanto que o componente de plástico é firmemente preso. A vibração na interface das paredes do inserto/castelo resulta em

fricção. O calor gerado produz uma fina camada de polímero fundido, o qual flui ao redor do perfil externo do inserto. Quando a fonte de potência é removida, o plástico fundido solidifica rapidamente ao redor do inserto, travando este na posição desejada.

Os insertos usados para o processo de inserção ultrasônica são geralmente de latão, com rosca interna e uma série de entalhes axiais para resistência à remoção e fendas verticais, para resistência torcional. Esses insertos também estão disponíveis em uma ampla variedade de tamanhos e formas para inserção ultrasônica.

Tanto os insertos, quanto os furos de diâmetro são levemente menores do que os insertos, e são geralmente cônicos para facilitar a inserção, assegurar uma geração mais uniforme de calor, facilitar a moldagem, e reduzir o tempo de instalação que é normalmente menor do que 1 segundo; para insertos grandes o tempo de instalação situa-se em torno de 3,5 segundos (ROTHEISER, 1999).

A inserção ultrasônica apresenta uma série de vantagens: o processo é significativamente mais rápido, facilmente automatizado e mais eficiente do que a inserção térmica convencional, visto que o calor é gerado somente na interface metal/termoplástico; as uniões obtidas apresentam alta resistência e baixos valores de tensões residuais; bom fluxo de material ao redor do inserto.

Segundo MALLOY (1994), a contração do polímero fundido durante o resfriamento na interface polímero/inserto tende a aliviar tensões e isto ocorre devido ao deslocamento do polímero fundido para longe do inserto durante o resfriamento.

Conforme ROTHEISER (1999), o custo da inserção ultrasônica é levemente maior do que nos insertos moldantes e insertos expansivos.

#### **C.2.4 - Inserção térmica**

Esta técnica de inserção difere-se da inserção por interferência a frio pelo fato de o inserto ser aquecido. É uma técnica de inserção similar à inserção ultrasônica. O inserto é posicionado sobre o furo, o qual é levemente menor em diâmetro do que o inserto. Uma fonte de calor é então aplicada no inserto e, a medida que o aquecimento aumenta, uma fina camada de material plástico fundido é formada. O inserto vai sendo paulatinamente inserido no furo e o material fundido flui ao redor do perfil externo do inserto. Quando a fonte de calor é removida, o inserto resfria e o polímero fundido solidifica, travando o inserto na posição desejada.

Os insertos utilizados possuem uma série de entalhes axiais para resistência à remoção axial ou são recartilhados para resistência torcional.

As vantagens da inserção térmica são as seguintes: baixos custos de equipamento, pois o equipamento é simples e chega a custar a metade de uma unidade para inserção ultrasônica (ROTHEISER, 1999); baixos níveis de tensões residuais, resultando em uma melhor performance em relação a inserção a frio; bom fluxo de material ao redor do inserto; este método é o melhor para materiais aditivados com cargas de reforço e é menos sensível à rechupes, aberturas e contornos nos componentes plásticos; requer menor força para inserção. Finalizando, não há requisitos operacionais para proteção da audição do operadores dos equipamentos utilizados para inserção, pois os mesmos são muito silenciosos.

A desvantagem deste processo de inserção é a lentidão. O processo é lento visto que o inserto inteiro deve alcançar uma temperatura suficiente para provocar amolecimento do material plástico adjacente. Adicionado a isto, a zona de material plástico fundido circundando o inserto é maior, e isto pode conduzir ao movimento lateral do inserto durante a instalação. Isto pode tornar mais difícil a obtenção de tolerâncias mais apertadas se comparado a inserção ultrasônica. Outra desvantagem refere-se ao fato de que a aplicação excessiva de calor pode resultar em degradação do material circundante ao furo, com inerente perda de propriedades físicas.

Segundo ROTHEISER (1999), os insertos projetados para inserção térmica e inserção ultrasônica podem ser utilizados em materiais termoplásticos sem carga de reforço. Também podem ser usados em termoplásticos reforçados com carga de fibra de vidro ou fibra mineral acima de 30%.

### **C.2.5 - Insertos expansivos**

Os insertos expansivos, juntamente com os insertos ajustados por interferência, são os mais rápidos de serem instalados, sendo alcançadas taxas de até 60 insertos instalados por minuto, mediante inserção automatizada (ROTHEISER, 1999).

Segundo ROTHEISER (1999), os insertos expansivos provém resistência rotacional e resistência à remoção ou arrancamento axial maiores do que nos insertos ultrasônicos, porém inferiores às resistências obtidas com insertos autoatarraxantes ou insertos moldantes. Entretanto, eles podem ainda ser suficientemente fortes para cisalhar o parafuso antes que o inserto seja arrancado axialmente da posição.

São insertos de latão com rosca interna que se caracterizam pelo autotravamento em um furo moldado ou perfurado. Os insertos apresentam fendas longitudinais cortadas ao longo do comprimento e recartilhados.

Na realidade, esses insertos consistem-se de um conjunto de vigas cantilever dispostas ao longo da circunferência. O inserto é posicionado em um furo, sendo o diâmetro do furo levemente maior do que o maior diâmetro do inserto.

Utilizam um princípio de expansão que é às vezes usado com materiais plásticos: uma ferramenta especial desloca uma placa colocada no interior dos insertos. Esta placa desloca-se através de guias que se movimentam ao longo das fendas longitudinais do inserto. Estas fendas longitudinais estão localizadas na porção geralmente cônica do inserto. Assim, com o deslocamento da placa, as laterais da porção cônica do inserto expandem-se, pressionando as paredes do componente plástico e travando o inserto na posição desejada. Após isso, o parafuso é inserido na rosca interna do inserto para efetuar a união.

Estes insertos podem ser usados tanto para materiais termofixos e termoplásticos (em menor escala), dúcteis ou rígidos. São mais amplamente usados para componentes constituídos de materiais termofixos, competindo com os insertos moldantes para várias aplicações. Conforme ROTHEISER (1999), insertos expansivos não são muito utilizados para componentes termoplásticos de dimensões reduzidas, pois pode ocorrer falha ou ruptura devido ao acúmulo de tensões.

Em comparação aos insertos moldantes, os insertos expansivos permitem ciclos de moldagem mais rápidos, pois estes não precisam ser previamente posicionados nos moldes.

Assim como a técnica de inserção por interferência, esta técnica de inserção é barata e rápida. Infelizmente, ambas as técnicas tendem a induzir uma grande quantidade de tensões durante a montagem, o que é considerado um efeito indesejável. Visto que não há fluxo de material ao redor do inserto, a resistência de sujeição provida por estes insertos é severamente limitada.

#### **4.2.5 - Processos de soldagem**

Existem vários processos de soldagem para unir componentes termoplásticos moldados por injeção. A maior parte dos termoplásticos podem ser soldados entre si. Porém, se o componente termoplástico tiver de ser unido a um componente termofixo, os processos de soldagem existentes não podem ser utilizados.

Os processos de soldagem envolvem aquecimento do polímero a um estado viscoso, provocando interdifusão das cadeias dos polímeros através da interface dos componentes, geralmente mediante aplicação de pressão. A mobilidade molecular para os processos convencionais de soldagem de termoplásticos é gerada através de aquecimento. Os diferentes processos de soldagem geram energia térmica de diferentes maneiras como será visto posteriormente.

Todos os processos de soldagem envolvem amolecimento ou fusão das superfícies de união. Posteriormente, o material fundido resfria e solidifica sob pressão, formando a união. Todo esse mecanismo resulta geralmente em uma união forte e com resistência equivalente ou próxima à resistência dos materiais plásticos originais.

Para obter uniões fortes, os pontos de amolecimento ou fusão de cada resina são importantes. Por exemplo, nos processos de soldagem rotacional, soldagem ultrasônica e soldagem por vibração, calor friccional é criado na interface da união à medida que os componentes vibram sob pressão um contra o outro. O material com menor ponto de fusão ou amolecimento fundirá primeiro. Se os pontos de fusão dos dois materiais não são favoravelmente próximos, um dos materiais fundirá antes do outro, diminuindo a resistência da união. Cada metade da união deve fundir dentro de uma temperatura específica e faixa de tempo para obter uma união forte. Por isso, os pontos de fusão ou amolecimento de cada material, semi-cristalino ou amorfo, são importantes quando são usados processos de soldagem.

A maioria dos componentes soldados é do mesmo material, os quais não apresentam problemas devido a diferenças nos pontos de fusão. Porém, a soldagem de plásticos dissimilares merece uma atenção especial. Resinas amorfas permitem uma maior faixa de temperaturas de ponto de fusão do que resinas semi-cristalinas.

Segundo GORDON (1993), para soldar resinas amorfas, a diferença entre os pontos de fusão dos componentes deve ser menor do que  $5^{\circ}\text{C}$  e para unir resinas semi-cristalinas, a diferença entre os pontos de fusão deve ser menor do que  $15^{\circ}\text{C}$ , de modo a obter uma solda forte. Ligas destas resinas ou blendas podem também ser soldadas, contudo o projetista precisa verificar a compatibilidade dos materiais.

Os processos de soldagem de componentes termoplásticos são geralmente considerados irreversíveis, pois os componentes soldados não podem ser separados. A exceção está no processo de soldagem eletromagnética, o qual pode ser usado para produzir uma união reversível ou desmontável.

O projeto e a qualidade da união soldada são importantes para a obtenção de uma união forte. O projetista deve conhecer as várias configurações de uniões e as especificações de moldagem (contração) dos materiais para assegurar que as tolerâncias dos componentes corresponderão aos requisitos necessários. Muitas vezes a escolha inadequada da configuração da união ou dos materiais, resultam em baixa resistência.

Componentes constituídos de resinas plásticas higroscópicas devem estar livres de umidade. Os componentes devem ser soldados imediatamente após a moldagem ou armazenados em sacos de polietileno vedantes. Se os componentes estiverem umidos, quando a soldagem for executada, a umidade presente evapora, formando vazios ou poros nas superfícies de união. Como resultado, tem-se baixa resistência da união e estética comprometida.

Para materiais reforçados ou com carga, quanto mais rígido for o material, mais fácil é a realização da soldagem. O teor de carga de reforço deve ser limitado a 40%, de modo a evitar baixa resistência da união.

Agentes desmoldantes devem ser removidos da área da união e, se possível, não devem ser utilizados.

Lubrificantes e alguns modificadores de material na resina contaminam a união, enfraquecendo-a. Isto pode reduzir a fricção de contato entre os componentes.

Os processos de soldagem podem ser facilmente automatizados e a operação de soldagem geralmente consome poucos segundos.

A seguir são descritos os processos de soldagem de termoplásticos.

## **A - Soldagem ultrasônica**

Este é o processo de soldagem mais popular utilizado para unir dois componentes termoplásticos. A soldagem ultrasônica produz uniões fortes e confiáveis em ciclos de tempo muito rápidos e geralmente isentas de rebarbas.

Segundo MALLOY (1994), este processo usa uma energia vibratória de baixa amplitude (15 - 60 $\mu$ m) e alta frequência (20 - 50 KHz) para gerar fricção superficial e intermolecular, e conseqüentemente obter o calor requerido para soldar os componentes termoplásticos.

O equipamento para soldagem ultrasônica é composto por três componentes básicos: fonte geradora, conjunto acústico (transdutor, transformador acústico e sonotrodo) e prensa pneumática com controle eletrônico. A fonte geradora alimenta o transdutor com energia elétrica de alta frequência. O transdutor transforma a energia elétrica em energia mecânica de alta

frequência (vibração 20.000 Hz). Acoplado ao transdutor temos uma haste metálica chamada de transformador acústico, cuja função é modificar a amplitude de vibração transmitida ao sonotrodo de modo a aumentar ou diminuir a amplitude da vibração aplicada ao componente. O sonotrodo é uma haste metálica ressonante e com comprimento de meia onda, a qual transfere a energia mecânica vibratória para o componente a ser soldado. O sonotrodo é projetado especialmente para os componentes a serem unidos. O conjunto acústico é fixado à prensa pneumática que tem por função pressionar o sonotrodo sobre o componente a ser soldado e afastá-lo logo após o término do ciclo de soldagem.

A tecnologia da soldagem ultrasônica está baseada no princípio da vibração. Neste processo, um dos componentes a ser unido é fixado a um molde de sustentação. A função principal desse dispositivo é segurar o componente de modo que o mesmo esteja perfeitamente alinhado com o sonotrodo dando um perfeito suporte, afim de evitar distorções.

Durante a soldagem, o componente em contato com o molde de sustentação deve permanecer estacionário enquanto o componente superior em contato com o sonotrodo, transmite a energia vibratória para a união.

O calor gerado através da vibração amolece e funde os materiais nas interfaces da união, efetuando-se, por conseguinte, a soldagem. Uma vez que o deslocamento apropriado de solda é alcançado, as vibrações ultrasônicas são interrompidas, e a solda resfria e solidifica sob pressão.

Há vários fatores que influenciam o processo de soldagem ultrasônica. O tipo de polímero a ser soldado, a geometria do componente e a espessura de parede afetam a transmissão de energia mecânica para a interface da união a ser soldada.

Segundo MALLOY (1994), o ciclo total de soldagem consome de 0,5 a 1,5 segundos, sendo que o tempo do ciclo depende do tamanho do componente e da área da união.

Esse processo de soldagem, conforme MALLOY (1994), é geralmente usado para unir componentes de tamanho pequeno a médio, porém componentes muito grandes também podem ser soldados, utilizando-se para tanto múltiplas estações de soldagem. Segundo FRANTZ (1997), a soldagem ultrasônica é particularmente adequada para unir componentes complexos e projetos que teriam alto custo se os produtos fosse moldados em um único componente.

Segundo TRES (1995), o processo de soldagem ultrasônica produz uniões com resistência na faixa de 90 a 95% do polímero virgem.

Conforme ROTHEISER (1999), vedações herméticas podem ser obtidas mediante um projeto adequado da união. Isto depende de uma correta definição das características geométricas das superfícies de união.

Este processo de soldagem é simples, barato, facilmente automatizado e é particularmente adequado para altos volumes de produção. Conforme GE (1999), uma unidade ou equipamento para soldagem ultrasônica pode custar em torno de 20.000 dólares, e cada aplicação requer um sonotrodo e um dispositivo fixador de componentes os quais representam um custo adicional.

Inúmeras são as aplicações da soldagem ultrasônica. Fabricantes de produtos médicos, que necessitam de processos de união não-contaminantes, utilizam a soldagem ultrasônica em uma variedade de produtos, tais como filtros, seringas, bem como em dispositivos cirúrgicos. A soldagem ultrasônica também encontra aplicações na indústria automotiva, que requerem vedações herméticas: lentes, filtros, válvulas, tampa do porta-luvas. Uso em aplicações que requerem hermeticidade e resistência: ferro a vapor, carcaça de bomba, aspirador de pó. Uso também em aplicações que requerem ausência de contaminantes, tais como disquetes, etc.

## **A.1 - Geometrias das uniões**

Existem muitos tipos de configurações de uniões para soldagem ultrasônica, cada uma com características e vantagens específicas. A seleção de uma configuração de união é determinada por fatores como o tipo de plásticos a unir, a geometria dos componentes, requisitos de soldagem, a capacidade de moldagem e requisitos estéticos.

Os tipos principais incluem as uniões planas, uniões de encaixe, uniões por interferência e uniões macho e fêmea. As diferentes configurações se enquadram em dois grupos conforme a direção da vibração:

- **Uniões do grupo 1:** Caracterizam-se pela vibração ultrasônica aplicada na direção normal às superfícies a serem unidas. As uniões deste grupo são as mais comumente utilizadas. Abaixo são descritos os principais tipos de uniões deste grupo:

### **A.1.1 - União plana simples A**

A uniões plana, ilustrada na Figura 4.30a possui uma interface plana a qual requer tempo e energia de soldagem excessivos. Além disso, a solda obtida apresenta uma aparência ruim devido a formação de rebarbas de material soldado na união. Como resultado, este tipo de configuração de união não é utilizado na prática geral.

### A.1.2 - União plana com friso condutor de energia B

Este tipo de união é a mais usada para soldagem ultrasônica, oferecendo maior facilidade de moldagem de um componente. Possui um friso condutor de energia de formato triangular conforme ilustrado na Figura 4.30b. O friso condutor é moldado em um dos componentes constituintes da união.

A energia ultrasônica aplicada funde o material do friso condutor, a partir do ponto de contato, espalhando o material fundido ao longo da superfície adjacente da união. Este friso condutor de energia permite uma soldagem muito mais rápida, mais resistente, e com menor consumo de energia, comparado a união plana propriamente dita. Além disso, a formação de rebarbas na união é muito menor se comparado a união plana simples.

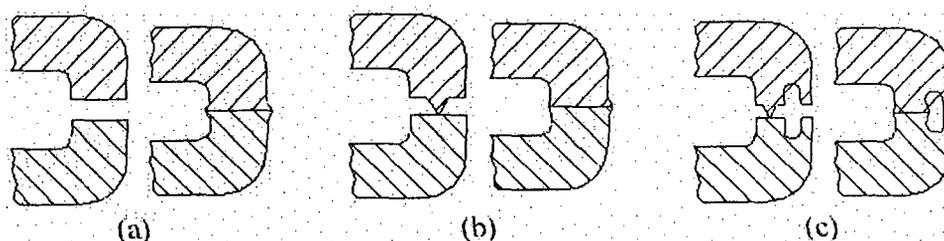


Figura 4.30 - Uniões planas para soldagem ultrasônica.

Este tipo de união é adequado para materiais amorfos, tais como ABS, SAN, acrílico e poliestireno. Entretanto, também pode ser utilizado satisfatoriamente com alguns materiais semi-cristalinos, tais como náilon, poliésteres termoplásticos, acetal, polietileno, polipropileno, policarbonato e polissulfonas.

### A.1.3 - União plana com friso condutor de energia e cavidade

Este tipo de união é mostrado na Figura 4.30c. Os componentes são dotados de cavidades, as quais funcionam como recipientes para o excesso de material fundido. Esta configuração de união é utilizada em aplicações onde a formação de rebarbas de material soldado é esteticamente ou funcionalmente inaceitável. A resistência da união obtida é menor se comparada a uma união dotada somente de friso triangular, pois a área de soldagem é menor.

### A.1.4 - União Pinch

Esta opção de união é mostrada na Figura 4.31, consistindo em uma alternativa à união plana básica. Foi projetada para reter o material fundido dentro da zona de soldagem, minimizando a formação de rebarbas. Este tipo de união tem se mostrado apropriado para alguns

polímeros semi-cristalinos, tais como acetal ou náilon, os quais passam rapidamente do estado sólido para o estado fundido. As tolerâncias dos componentes são relativamente apertadas devido a geometria mais complexa da união.

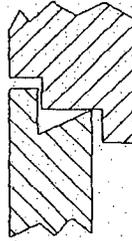


Figura 4.31 - União pinch para soldagem ultrassônica.

#### A.1.5 - Uniões de encaixe

Esta configuração de união encontra-se representada na Figura 4.32. É a mais usada para soldagem por ultrassônica por apresentar fácil construção, perfeito alinhamento dos componentes e maior resistência da soldagem.

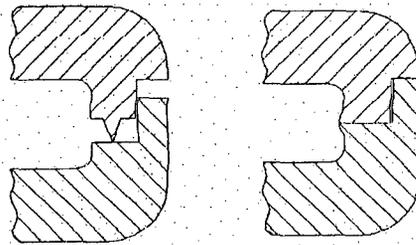


Figura 4.32 - União de encaixe para soldagem ultrassônica.

A geometria da união impede que excesso de material crie rebarbas na parte externa dos componentes, resultando em boa aparência. A união de encaixe resiste a forças de tração e oferece ótima resistência a cargas de cisalhamento. Também é usualmente mais forte do que a união plana, devido ao fato de que o material flui dentro da folga vertical existente entre os componentes antes da soldagem. Um friso condutor de energia pode ser adicionado a um dos componentes da união.

#### A.1.6 - Uniões macho e fêmea

Esta configuração é mostrada na Figura 4.33. Este tipo de união provém resistência ao cisalhamento e à tração. A união macho e fêmea com friso condutor de energia provém a mais alta força de aderência entre todas as uniões e é usada quando é requerida vedação hermética, com boa aparência nos dois lados.

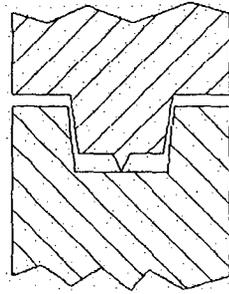


Figura 4.33 - União macho e fêmea para soldagem ultrassônica.

- **Uniões do grupo 2:** Caracteriza-se pela vibração ultrassônica aplicada num plano paralelo às superfícies a serem unidas, resultando em um estado de cisalhamento. As uniões pertencentes a este grupo são descritas abaixo:

#### A.1.7 - União por interferência

A Figura 4.34 mostra duas configurações típicas de união por interferência. É usada sempre que for necessária uma soldagem hermética de alta resistência, especialmente para resinas de estrutura semi-cristalina (náilon, poliacetal, poliéster, polietileno e polipropileno).

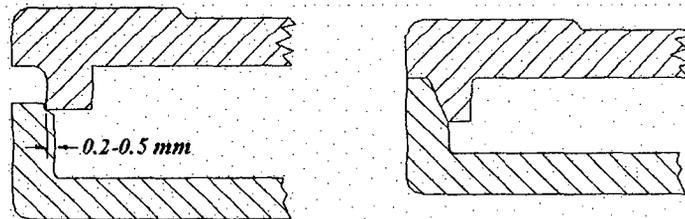


Figura 4.34 - Uniões por interferência para soldagem ultrassônica.

As resinas cristalinas mudam rapidamente do estado sólido para a fusão, dentro de uma faixa de temperatura bastante estreita. Neste caso, uma união com friso condutor de energia não deve ser usada, pois o material fundido do friso se solidifica antes de fundir a superfície adjacente. Uniões por interferência são os tipos preferidos para polímeros semi-cristalinos porque oferecem maior resistência se comparadas às uniões planas com friso condutor e uniões de encaixe.

O componente superior deve ser o mais fino possível, de preferência uma tampa. Com a junta por interferência, a soldagem se processa primeiro fundindo a pequena área de contato e continuando a fusão através da interferência nas paredes.

### A.1.8 - União chanfrada

Esta união é mostrada na Figura 4.35. Também são usadas para produzir vedações herméticas de alta resistência para polímeros amorfos e semi-cristalinos. Este tipo de união é mais apropriado para componentes circulares ou ovais de tamanho reduzido. A união pode ser dotada de cavidades para aplicações onde a presença de rebarbas de material fundido é funcionalmente ou esteticamente inaceitável.

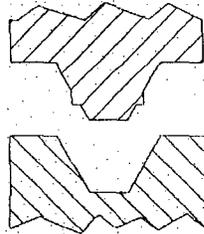


Figura 4.35 - União chanfrada para soldagem ultrasônica.

### A.2 - Materiais

Somente os materiais termoplásticos são adequados para este processo de soldagem, pois fundem facilmente e mantêm as suas propriedades originais quando resfriados.

Os materiais termofixos, em contraste, não fundem, e degradam quando reaquecidos. Portanto, não podem ser unidos por esse processo.

As características da resina podem determinar a soldabilidade ultrasônica do termoplástico. ABS e poliestireno de alto impacto estão entre os polímeros mais facilmente unidos por este processo de soldagem.

Entretanto, existe um conjunto de fatores relacionados a esses materiais que devem ser levados em consideração para a utilização deste processo de soldagem. Entre estes fatores estão a morfologia, as características de fluxo do polímero fundido, higroscopia, a presença de aditivos, etc.

As resinas termoplásticas podem ser classificadas em amorfas e semi-cristalinas. Resinas amorfas são caracterizadas por um arranjo molecular aleatório e uma ampla faixa de amolecimento e fusão. Os materiais amorfos amolecem gradualmente e solidificam vagarosamente. As resinas semi-cristalinas ou cristalinas têm uma estrutura molecular ordenada e temperaturas de fusão específicas. Portanto, as estruturas semi-cristalinas não se rompem facilmente para permitir o fluxo de material, e a solidificação é rápida. Como resultado, as resinas amorfas podem ser unidas por este processo mais facilmente do que as resinas semi-

cristalinas. Entretanto, o advento de máquinas mais poderosas tem superado esta distinção, e os polímeros semi-cristalinos são soldados habitualmente.

Segundo TRES (1995), plásticos rígidos exibem as melhor propriedades de soldabilidade devido ao fato de que são bons transmissores de energia de vibração. Plásticos macios ou dúcteis, por sua vez, dissipam a energia de vibração, dificultando a soldagem dos componentes. Materiais com baixo módulo de elasticidade como polietileno e polipropileno podem ser soldados, desde que o sonotrodo possa ser posicionado bem próximo a união.

Para que plásticos dissimilares possam ser unidos por esse processo de soldagem, os materiais devem ter estruturas moleculares similares ou ser quimicamente compatíveis entre si. Segundo FRANTZ (1997), os materiais dissimilares devem ter pesos moleculares similares e a diferença entre as temperaturas de fusão deve ser inferior a 22°C.

Segundo ROUSE (1985), a soldabilidade ultrasônica de qualquer resina depende sobretudo da temperatura de fusão, do módulo de elasticidade, da resistência ao impacto, do coeficiente de fricção e da condutividade térmica.

Os diferentes fatores relacionados aos termoplásticos e que exercem influência direta sobre o processo de soldagem ultrasônica são analisados a seguir.

- **Polímeros amorfos:**

Os polímeros amorfos, vítreos, com seu arranjo molecular aleatório, são bons transmissores de energia vibratória. Dentre estes materiais, incluem-se o acrílico, o policarbonato e ABS.

A soldabilidade dos polímeros amorfos é influenciada pela sua rigidez e pela temperatura de transição vítrea. A soldabilidade diminui a medida que a flexibilidade do material aumenta. Os polímeros amorfos vítreos são rígidos e portanto apresentam boa soldabilidade. Polímeros muito flexíveis tais como termoplásticos elastoméricos não podem ser soldados por este processo devido ao amortecimento excessivo das vibrações. O outro fator que influencia a soldabilidade dos polímeros amorfos é a temperatura de transição vítrea. Os termoplásticos amorfos vítreos caracterizam-se por uma transição térmica gradual, partindo do estado vítreo seguido de amolecimento gradual e eventualmente atingindo o estado fundido. Sob resfriamento a transição térmica também é gradual, permitindo que o polímero amoleça e flua na interface da união sem que haja solidificação prematura.

Segundo MALLOY (1994), é possível soldar componentes constituídos de polímeros amorfos dissimilares se as estruturas químicas, propriedades de fluxo e temperaturas de transição

vítrea Tg forem similares. A diferença entre as temperaturas de transição vítrea para os materiais a serem unidos não deve ser maior do que 14-22°.

- **Polímeros semi-cristalinos**

Estes polímeros são geralmente mais difíceis de soldar através da soldagem ultrasônica quando comparados aos termoplásticos amorfos rígidos ou semi-rígidos. Requerem configurações de uniões especiais. Os polímeros semi-cristalinos tendem a amortecer as vibrações ultra-sônicas mais do que os polímeros amorfos vítreos. Em geral, polímeros semi-cristalinos são pobres transmissores de energia vibratória.

Consequentemente, para soldar estes materiais, é necessário aumentar o nível de energia emitido pelo sistema de soldagem (aumentar a amplitude de vibração) e diminuir a distância entre a área de contato sonotrodo/componente e a interface da união. A amplitude de vibração do sonotrodo deve estar na faixa de 0,05-0,15mm conforme MALLOY (1994). Geralmente é mais fácil soldar componentes a medida que diminui a distância entre o sonotrodo e a junta.

Assim como nos materiais amorfos, os polímeros semi-cristalinos requerem energias de soldagem que aumentam com o crescimento da temperatura de fusão e diminuem com o aumento da rigidez. Materiais tais como o politetrafluoretileno, com alta temperatura de fusão, baixo coeficiente de fricção e pobres propriedades de fluxo são extremamente difíceis de soldar.

Uniões convencionais com friso condutor de energia não são adequadas para polímeros semi-cristalinos em aplicações que requerem alta resistência ou hermeticidade da união. Isto ocorre porque o polímero fundido tende a solidificar prematuramente, antes que qualquer grau, significativo, de difusão molecular ocorra entre o filme fundido e as superfícies adjacentes dos componentes. Para amenizar esse problema, em alguns casos são usados frisos condutores de maiores dimensões.

As uniões ou juntas por interferência e as uniões chanfradas tem se mostrado adequadas para polímeros semi-cristalinos quando alta resistência e hermeticidade da união são requeridos.

- **Polímeros higroscópicos**

Muitos materiais plásticos são higroscópicos, absorvendo umidade do ar após a moldagem por injeção. Os componentes estão secos quando moldados, devido a secagem que é realizada previamente à moldagem. Contudo, os polímeros acumulam umidade ao longo do tempo. A taxa de absorção de umidade é determinada pelo tipo de material, nível inicial de umidade e pelas condições ambientes. Segundo ROTHEISER (1999), polímeros altamente higroscópicos tais como o náilon 6,6 podem alcançar níveis de umidade superficial que interferem no processo de soldagem, logo após a moldagem.

A presença de umidade requer maior energia para soldar os componentes devido ao amortecimento das vibrações ultrasônicas. A presença de umidade também pode induzir à formação de bolhas de gás, vazios e microporos. Conseqüentemente, ocorre uma diminuição da resistência da união soldada, as vedações herméticas produzidas são inadequadas e a aparência da união é ruim.

Para eliminar os efeitos nocivos da umidade sobre os componentes a serem soldados, os seguintes procedimentos são recomendados: efetuar a soldagem imediatamente após a moldagem, situação onde os componentes ainda estão livres de umidade e em elevada temperatura; secar os componentes antes de realizar a soldagem ou armazenar os componentes em dessecadores antes da soldagem. Os componentes também podem ser armazenados, logo após a moldagem em sacos vedantes de polietileno, com dissecantes apropriados.

Náilons são os materiais plásticos mais suscetíveis a umidade, seguidos pelo policarbonato, polissulfonas e poliésteres, os quais devem ser secados completamente antes da soldagem.

- **Aditivos**

Quase todos os materiais plásticos contém um ou mais aditivos nas suas formulações. Em alguns casos, os aditivos exercem pequeno ou nenhum efeito sobre a soldabilidade do material, enquanto que em outros casos a soldabilidade ultrasônica é afetada de modo significativo.

Cargas de reforço tais como carbonato de cálcio, talco, vidro, carbono, ou qualquer partícula inorgânico/orgânico que aumentam a rigidez do material composto, podem exercer efeitos positivos ou negativos sobre a soldabilidade ultrasônica do polímero. Por exemplo, cargas de reforço tais como vidro ou talco podem aumentar a soldabilidade ultrasônica. As características da soldagem são geralmente melhoradas para baixas concentrações de cargas de reforços, visto que o material composto exibe maior rigidez e a superfície do componente permanece rica em resina. Segundo MALLOY (1994), pode ser difícil obter vedações herméticas para concentrações de reforços superiores a 35%. Concentrações de cargas de reforço acima de 40% podem impedir completamente a soldagem, entretanto, experimento é exigido, visto que algumas combinações de materiais tais como 40% de talco com polipropileno podem apresentar boas características de soldagem.

A presença de agentes desmoldantes na união reduz a soldabilidade do processo. Os resíduos de agentes desmoldantes aderem na superfície dos componentes e inibem a geração de calor por fricção, devendo portanto ser removidos da interface da união antes da soldagem. Os

agentes desmoldantes tais como estearato de zinco, estearato de alumínio, fluorocarbonos e silicones não são compatíveis com este processo de soldagem.

Aditivos plastificantes conferem flexibilidade através da redução das forças atrativas entre as moléculas do polímero. Porém, esses aditivos diminuem a capacidade de transmissão de energia vibratória da resina.

- **Compatibilidade entre os materiais**

A tabela 4.1 mostra a compatibilidade entre os termoplásticos.

Tabela 4.1 - Compatibilidade entre os termoplásticos para soldagem ultrasônica.

	ABS	ABS/PC (CYCOLY800)	ACRILICO	NÁILON	NORIL	POLIACETAL	PC	POLIESTER	PE	PP	PS	PVC	SAN - ASA
ABS	*	*	*										-
ABS/PC	*	*	-				*						-
ACRÍLICO	*	-	*		-		-						-
NÁILON				*									
NORIL			-		*		-				*		-
POLIACETAL						*							
POLICARBONATO (PC)		*	-		-		*						
POLIESTER								*					
POLIETILENO (PE)									*				
POLIPROPILENO (PP)										*			
POLIESTIRENO (PS)					*						*		-
PVC												*	
SAN - ASA	-		-		-						-		*

\* Materiais Compatíveis

- Materiais com alguma compatibilidade, dependendo da proporção.

FONTE: SONITRON (1998)

## B - Soldagem por vibração

Este é um processo de soldagem friccional, no qual os componentes a serem unidos são atritados um contra o outro, sob pressão, num plano horizontal, de modo a gerar um aquecimento que irá provocar a fusão da interface da união. Um dos componentes é mantido estacionário enquanto o outro é atritado contra o primeiro. Assim que o filme fundido estiver espalhado sobre a área de soldagem, e uma penetração adequada da solda for obtida, a vibração é interrompida e os componentes são alinhados e mantidos juntos sob pressão até que a solda solidifique em temperatura ambiente, formando uma união permanente.

Segundo ROTHEISER (1999), as frequências de vibração utilizadas variam normalmente de 120 à 300 Hz.

Conforme TRES (1995), este processo de soldagem é rápido, com tempo de ciclo entre 1 e 10 segundos. Segundo FRADOS (1976), o tempo de ciclo de soldagem é levemente maior do que na soldagem soldagem ultrasônica, contudo, é muito menor do que na soldagem por ferramenta aquecida. Conforme ROTHEISER (1999), dependendo da aplicação, podem ser obtidas taxas de produção que variam normalmente de 4 a 30 componentes por minuto (não foi levado em consideração o tempo de manuseio do componente, o qual varia com a aplicação).

Segundo MALLOY (1994), as resistências obtidas com a soldagem por vibração podem muitas vezes ser semelhantes àsquelas do polímero base, se uma adequada penetração da solda for alcançada.

A soldagem por vibração apresenta uma série de vantagens em relação a outros processos de soldagem: o equipamento padrão permite soldar grandes componentes, com dimensões acima de 1016 mm por 2032 mm (ROTHEISER, 1999); uniões corretamente projetadas provém vedações herméticas; paredes internas podem ser soldadas ao mesmo tempo que as paredes externas; o movimento friccional entre os componentes desloca os contaminantes superficiais, tais como agentes desmoldantes, revestimentos superficiais e até mesmo pintura, para fora da área de soldagem.

Entre as desvantagens do processo, incluem-se: a solda é geralmente limitada a um único plano, o qual deve ser horizontal; o equipamento necessário para soldagem tem um custo maior do que nos outros processos de soldagem.

O processo de soldagem pode ser automatizado quando altos volumes de produção são requeridos.

Aplicações industriais de soldagem por vibração incluem uniões lineares suficientemente longas (>200 mm) que dificultariam a soldagem ultrasônica e que requeririam muitos minutos para o processo de soldagem por ferramenta aquecida. A seguir, incluem-se importantes aplicações deste processo de soldagem: pára-choques de veículos, tanques de combustível, painéis de instrumentos, painéis internos das portas de veículos, armação de óculos, carcaça de filtros e coletores de admissão de ar para motores de veículos.

Segundo ROTHEISER (1999), a maior concorrente deste processo de soldagem é a soldagem ultrasônica. Devido ao maior custo do equipamento, a soldagem por vibração é normalmente usada somente para aplicações que não são adequadas para a soldagem ultrasônica.

Conforme ROTHEISER (1999), a soldagem por ferramenta aquecida também pode ser considerada uma concorrente direta da soldagem por vibração. Isto deve-se ao fato de que as resistências das uniões e as compatibilidades entre os materiais são aproximadamente equivalentes para os dois processos. Segundo o referido autor, o equipamento para a soldagem por ferramenta aquecida apresenta um custo muito menor, contudo, os tempos dos ciclos de soldagem são muito maiores, assim como os custos de manutenção.

Existem dois tipos de processos de soldagem por vibração:

- **Soldagem por vibração linear**

Na soldagem por vibração linear, um dos componentes é friccionado linearmente em relação ao outro, descrevendo um movimento alternativo. Este tipo de soldagem por vibração é o mais antigo e o mais comumente utilizado. Pode ser utilizado para uma ampla faixa de tamanho de componentes.

- **Soldagem por vibração orbital**

Na soldagem por vibração orbital, um dos componentes pode ser movimentado em mais de uma direção num mesmo plano. Todos os pontos das superfícies de união experimentam um movimento idêntico e contínuo. É um processo similar à soldagem por vibração linear, porém confere uma maior liberdade no projeto das superfícies de união.

Conforme ROTHEISER (1999), este processo de soldagem não pode ser utilizado para muitos produtos. Ainda segundo o referido autor, este processo foi criado para preencher uma lacuna existente no mercado para máquinas de soldagem de tamanho médio, que fossem capazes

de manipular componentes acima de 305 mm em diâmetro e outros componentes que não pudessem ser soldados pelos processos de soldagem por vibração convencionais.

Ao contrário da soldagem por vibração linear, a qual tem uma velocidade de soldagem não uniforme devido ao movimento de vibração alternativo, a soldagem por vibração orbital é contínua. Isto reduz o tempo necessário para criar a solda.

Segundo KAGAN (1999), a soldagem por vibração orbital é eficiente para unir componentes de náilon. Ainda conforme o referido autor, a soldagem por vibração orbital pode servir como uma alternativa à soldagem por vibração linear e à soldagem ultrasônica, para a união de componentes pequenos ou com espessuras de parede finas e perpendiculares à superfície de soldagem.

Conforme KAGAN (1999), os dois processos de soldagem por vibração podem produzir soldas em alguns termoplásticos que alcançam valores de resistência à tração superiores aos dos materiais base.

### **B.1 - Materiais**

A maioria dos termoplásticos podem ser soldados por vibração, incluindo materiais reforçados. Materiais termoplásticos cristalinos, tais como acetal, polietileno, náilon e polipropileno que não são facilmente unidos por soldagem ultrasônica ou colagem por solventes, podem ser soldados por este processo.

Existe a possibilidade de soldar termoplásticos dissimilares e blendas. Uniões bem sucedidas podem ser feitas entre, por exemplo, PS (poliestireno) e ABS (acrilonitrila butadieno estireno), PMMA (polimetilmetacrilato) e (PC) policarbonato, PPO (polifenileno óxido) e PA (náilon), PP (polipropileno) e PEAD (polietileno alta densidade).

As considerações feitas para os materiais a serem soldados por este processo são similares àquelas descritas para a soldagem ultrasônica. Materiais amorfos são geralmente mais fáceis de soldar por vibração do que polímeros semi-cristalinos. A compatibilidade é geralmente limitada aos materiais amorfos, com a maioria dos materiais semi-cristalinos sendo soldáveis somente com eles mesmo.

O processo não é adequado para materiais muito flexíveis tais como termoplásticos elastoméricos.

Este processo de soldagem é mais tolerante com relação a presença de umidade e contaminações superficiais, tais como por resíduos de agentes desmoldantes, se comparado a

outros processos de soldagem. Os contaminantes superficiais são removidos naturalmente a medida que a solda é efetuada.

Na tabela 4.2 é apresentada a soldabilidade e compatibilidade de alguns materiais termoplásticos para soldagem por vibração.

Tabela 4.2 - Compatibilidade e soldabilidade dos termoplásticos para soldagem por vibração.

Material	Soldabilidade	Materiais dissimilares compatíveis
ABS	Excelente	ABS/PC, acrílico, SAN, PEI, PET, PPO, PC
ABS/policarbonato	Excelente	ABS, PC, acrílico
Acetal	Excelente	
Acrílico	Excelente	ABS, ABS/PC, acrílico multipolímero, PC, SAN
Acrílico multipolímero	Excelente	ABS, acrílico, PS, SAN
ASA	Pobre	
Butadieno-estireno	Bom	
Náilon	Excelente	
PBT/policarbonato	Excelente	PC
Poliamida	Pobre a bom	
Policarbonato	Excelente	ABS, acrílico, PPO, PC/PBT, PBT, polissulfona, polieteremida, PPO/PA, PC/ABS
Policarbonato/poliéster	Excelente	
Poliésteres (PET, PBT)	Excelente	ABS, PC, PEI
PEEK	Bom	
Polieteramida	Excelente	PC, ABS, PBT
Poliétileno	Bom a pobre	
Polifenileno óxido modificado	Excelente a pobre	PS, acrílico, PC, SAN, PPO/PA, ABS,
Polifenileno óxido/poliamida	Excelente	PPO, PC
Polipropileno	Excelente	
Poliestireno	Excelente	PPO, acrílico multipolímero, SAN
Polissulfona	Excelente	
PVC rígido	Bom	
SAN-ASA	Excelente	ABS, acrílico, acrílico multipolímero, PPO, PS

Fonte: ROTHEISER (1999).

## B.2 - Geometria das uniões

O processo de soldagem por vibração é ideal para unir componentes onde a interface de união seja plana ou tenha uma curvatura pequena. Um importante requisito para que esse processo de soldagem possa ser utilizado, é o fato de que os componentes precisam estar livres para vibrar um em relação ao outro no plano da interface da união, ou seja, as superfícies dos componentes precisam ser planas; componentes de superfícies complexas ou irregulares geralmente não podem ser soldados por esse processo.

O tipo básico de união para soldagem por vibração é a união plana, ilustrada na Figura 4.36. As uniões devem permitir movimento relativo e sustentar as paredes dos componentes durante a soldagem. A união plana modificada com uma flange aumenta a rigidez da parede, assegura uma distribuição uniforme de pressão, e provém área superficial adicional para maior resistência da solda. Se as paredes forem suficientemente rígidas ou apoiadas para prevenir dobramento, não há necessidade de utilização de flanges.

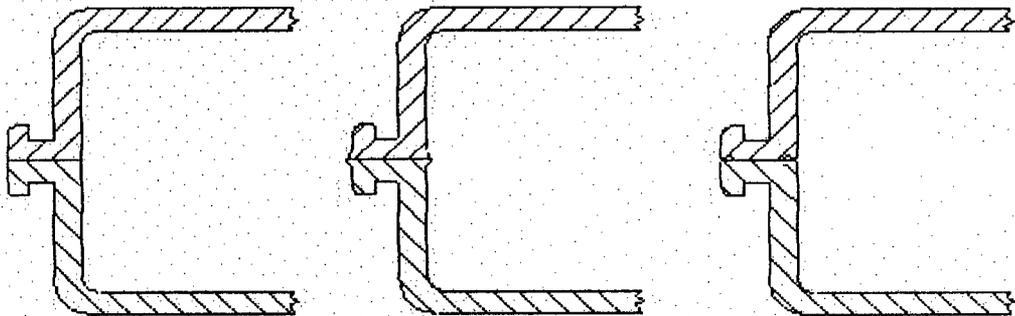


Figura 4.36 - Uniões planas para soldagem por vibração.

O processo de soldagem pode gerar um significativo acúmulo de rebarbas na lateral da união. Assim, se a presença dessas rebarbas for funcionalmente ou esteticamente inaceitável, pode-se utilizar configurações de uniões dotadas de cavidades para o acúmulo do excesso de material fundido.

Conforme TRES (1995), uniões herméticas são facilmente obtidas por esse processo de soldagem. Um exemplo disso são as bombas para lavadoras e máquinas de lavar prato, as quais utilizam uma união plana de soldagem. A soldagem obtida provém uma vedação hermética.

## C - Soldagem rotacional

Neste processo, um dos componentes é rotacionado ao redor de um eixo normal ao plano das superfícies a serem unidas, enquanto o outro componente é firmemente preso. Conforme MALLOY (1994), as velocidades rotacionais usadas variam de 1000 rpm para componentes maiores, até 18000 rpm para componentes menores, resultando em velocidades superficiais de 3 a 15 m/s. O calor necessário para realizar a soldagem é criado por meio de fricção interfacial entre os dois componentes a serem unidos. A pressão aplicada expulsa bolhas de ar e contaminantes das superfícies de união. Segundo o mesmo autor, as pressões na interface variam de 20 a 50 bar. Quando o movimento rotativo é interrompido, o filme fundido na zona de soldagem resfria e solidifica sob pressão, formando uma união forte. O movimento rotativo deve ser interrompido bruscamente, caso contrário a solda formada quebrará devido a torção.

Segundo MALLOY (1994), a soldagem rotacional é o mais eficiente processo para a união de componentes termoplásticos de qualquer tamanho e que tenham superfícies de união circulares e simétricas. Conforme o referido autor, componentes cilíndricos com diâmetro maior que 0,6 m e área da interface de junta em torno de 60 cm<sup>2</sup>, tem sido unidos através deste processo de soldagem. Este processo também pode ser usado para unir componentes de seção transversal circular à componentes termoplásticos maiores não-circulares.

Este processo de soldagem produz uniões de excepcional qualidade e resistência, sendo que a resistência da união é próxima da resina base.

Entre as vantagens do processo, incluem-se: possibilidade de obter vedações herméticas; diâmetros acima de 600 mm; custo razoável do equipamento; tempo reduzido de soldagem; processo simples e barato. A necessidade de que um dos componentes apresente superfície circular, as dificuldades de posicionamento e alinhamento dos componentes e a atuação como contaminantes das cargas de reforço são enumeradas como desvantagens do processo.

### C.1 - Geometria das uniões

Conforme GE (1999), as geometrias das uniões devem prover adequada área de soldagem enquanto mantém a variação de velocidade linear ao longo da área de soldagem a menor possível. Por esta razão, as uniões macho e fêmea, uniões chanfradas e uniões por interferência são geralmente recomendadas. Exemplos das respectivas uniões são mostradas na Figura 4.37. Uniões planas também podem ser usadas, mas tendem a produzir soldagens mais fracas.

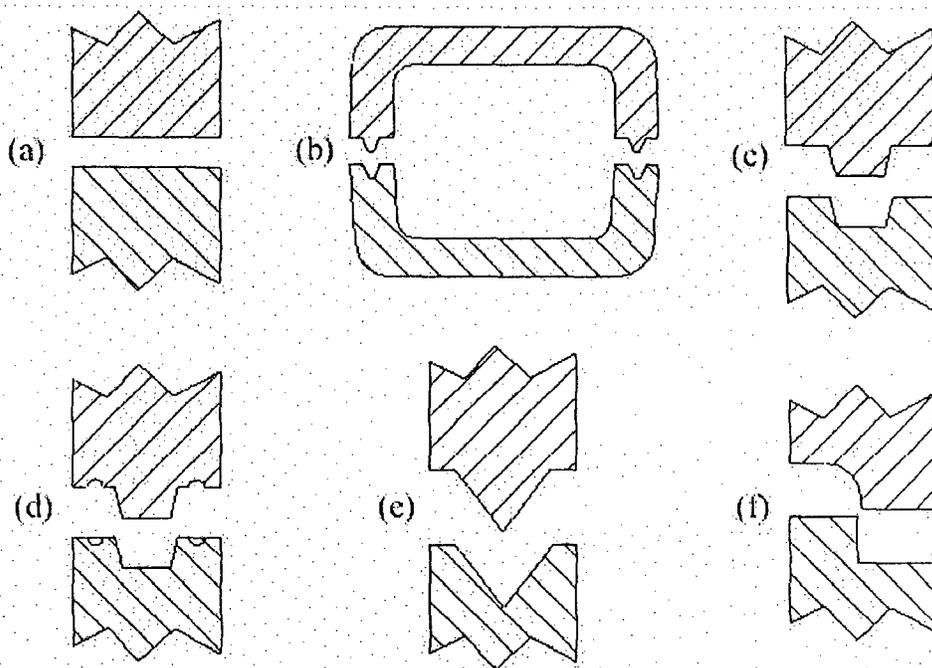


Figura 4.37 - Uniões para soldagem rotacional.

Para evitar a formação de rebarbas nas laterais da união, cavidades podem ser incorporadas na interface da mesma, ou então, as rebarbas podem ser removidas após a soldagem.

A resistência da união obtida por esse processo de soldagem é determinada pelo material, pelo projeto e pelas condições de processo utilizadas. Soldas fortes e vedações herméticas podem ser obtidas para a maioria dos termoplásticos.

## C.2 - Materiais

Quase todos os materiais termoplásticos podem ser soldados por este processo, incluídos os materiais com carga de reforço, materiais cristalinos, e materiais amorfos. Contudo há alguns problemas com as resinas rígidas mais macias, tais como polietileno de baixa densidade ou EVA (etileno vinil acetato).

Materiais dissimilares e blendas podem ser soldados com sucesso. Exemplos de tais uniões são PS (poliestireno) e ABS (acrilonitrila butadieno estireno), PMMA (polimetilmetacrilato) e PC (policarbonato), PPO/PA (polifenileno óxido/náilon) e PA (náilon), PP (polipropileno) e PEAD (polietileno de alta densidade).

## D - Soldagem eletromagnética

Neste processo de soldagem, também conhecido por soldagem por indução, um inserto ou implante de metal é posicionado entre dois componentes que serão unidos. Este implante tem pó metálico disperso com propriedades magnéticas. Antes da soldagem, o implante constituído de material eletromagnético é posicionado numa cavidade existente em um dos componentes a ser soldado conforme a Figura 4.38. O implante é, na realidade, uma matriz termoplástica magneticamente ativa. Pode ser constituído do mesmo polímero base dos componentes, ou compatível com os materiais a serem soldados. Quando componentes produzidos de polímeros diferentes tiverem de ser unidos, o implante pode ser uma mistura dos dois polímeros ou então um terceiro polímero compatível com ambos. O implante é dotado de partículas micrométricas ferromagnéticas dispersas no polímero base, sendo que a percentagem da carga dessas partículas no volume total do implante é inferior a 15% (MALLOY, 1994).

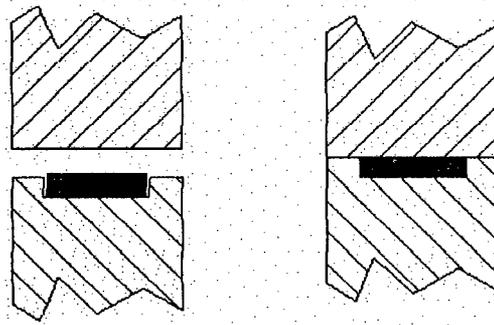


Figura 4.38 - União para soldagem eletromagnética com implante.

Segundo TRES (1995), um gerador cria uma corrente alternada de alta frequência (3 a 10 MHz), a qual passa através de bobinas posicionadas próximas da área da junta. Durante a soldagem eletromagnética, a corrente alternada de alta frequência que passa através das bobinas produz um campo eletromagnético que excita as partículas ferromagnéticas na área da união, aumentando a temperatura do implante por indução. Os componentes a serem unidos são transparentes ao campo magnético. O aquecimento gerado no implante é transferido por condução térmica para as superfícies dos componentes em contato com o mesmo, enquanto pressão é aplicada. As superfícies em contato com o implante fundem e formam a união.

O implante eletromagnético é geralmente fornecido como fita extrudada, cordão ou outro perfil, ou pode ser moldado como uma gaxeta para geometrias complexas. Implantes

eletromagnéticos baseados em termoplásticos higroscópicos devem ser secados para eliminar a umidade, que dificulta o processo de soldagem.

Conforme ROUSE (1985), os implantes eletromagnéticos aquecidos por indução podem alcançar temperaturas de 150°C em 0.1 segundos, provocando a fusão dos substratos a unir.

Segundo MALLOY (1994), os tempos de soldagem são pequenos, tipicamente entre 3 a 10 segundos; grandes componentes podem requerer tempos de ciclo de soldagem maiores.

Economicamente, o processo pode ser usado para componentes pequenos ou em componentes de geometrias complexas. Esses podem ser unidos por esse processo, sendo que a configuração do componente é limitada somente pela capacidade de projetar uma bobina adequada. A geração de calor é mais rápida com materiais de menor espessura.

Vários sub-componentes simples podem ser unidos por esse processo de soldagem para formar geometrias complexas, as quais representariam um alto custo caso fossem moldadas em um único componente. Exemplo disso é encontrado em aplicações tais como bombas d'água para automóveis. Para esta aplicação, este processo de soldagem substitui os engates rápidos. Os engates rápidos deixam áreas não vedadas ao longo da união.

Este processo de soldagem oferece uma série de vantagens, superando algumas das limitações de outros processos de soldagem. Entretanto, isto acontece às custas da adição do implante eletromagnético na interface da junta. Entre as vantagens, incluem-se: flexibilidade de projeto, permitindo que superfícies 3D muito complexas possam ser unidas por esse processo; utilidade para unir materiais com módulos de elasticidade muito baixos, tais como termoplásticos elastômericos; emprego para união de componentes muito espessos, grandes e de juntas complexas; possibilidade de uso para unir componentes altamente carregados ou reforçados, onde o teor de resina superficial para os processos de soldagem convencionais pode ser inadequado; ao contrário de outros processos de soldagem, a união obtida pode ser limitadamente desfeita e refeita, de modo a permitir o reparo de uniões desalinhadas ou componentes defeituosos; oferece grande potencial para o aumento da reciclabilidade dos componentes de plástico soldados, pois o cordão de solda pode ser reativado, permitindo a separação dos componentes; os requisitos de tolerâncias para componentes soldados por esse processo não são extremamente rígidos, devido a habilidade de preenchimento de cavidade proporcionada pelo implante; a aparência da união soldada é limpa, pois o deslocamento do material fundido para fora da linha de soldagem é limitado, e as soldas podem ficar escondidas dentro dos componentes; reduzido tempo de ciclo de soldagem; vedações herméticas são possíveis; mínima compressão dos componentes é exigida para formar a união; dispensa o pré-

tratamento dos substratos; tanto os materiais rígidos quanto dúcteis podem ser unidos e as uniões resultantes podem ser flexíveis ou rígidas; componentes com múltiplos cordões de solda podem ser unidos em segundos; ao contrário de outros processos de soldagem, tais como soldagem por gás aquecido, não exige pessoal habilitado para executar o serviço; o processo de soldagem é capaz de produzir uniões com resistências próximas às dos polímeros base.

Segundo TRES (1995), uma das maiores vantagens deste processo de soldagem reside no fato de não induzir tensões mecânicas nos dois componentes e o empenamento é mínimo. Isto ocorre porque o aquecimento é localizado.

Por outro lado, este processo de soldagem também apresenta algumas desvantagens e limitações: a principal limitação reside na necessidade de um terceiro componente - o implante eletromagnético - o qual adiciona custo ao processo; em alguns casos, a soldagem por vibração ou a soldagem rotacional, as quais também fundem o material somente na linha da solda, podem prover soluções com melhor custo benefício para a união de termoplásticos; o implante é opaco, impedindo portanto, a obtenção de vedações transparentes; componentes contendo insertos metálicos representam um problema, visto que os insertos podem reagir ao campo magnético; o equipamento utilizado é de alta tecnologia, e portanto, tem um custo elevado.

#### **D.1 - Materiais**

Este processo de soldagem é utilizado para unir todos os tipos de termoplásticos, polares ou não-polares, semi-cristalinos ou amorfos. Uns materiais que são difíceis ou impossíveis de serem unidos por meio de adesivos e outros processos de soldagem que não desenvolvem energia suficiente para amolecer adequadamente o material. Entre estes materiais estão os polipropilenos mais recentes.

Este processo também é muito útil para unir polímeros de baixa rigidez tais como termoplásticos elastoméricos, componentes muito espessos, materiais orientados ou polímeros sensíveis ao calor. Pode também ser usado para a soldagem de polímeros reforçados, onde o teor superficial de resina para a soldagem convencional pode ser inadequado.

A seguir, é mostrado na Tabela 4.3 a compatibilidade entre os materiais termoplásticos para soldagem eletromagnética.

Tabela 4.3 - Compatibilidade entre os termoplásticos para soldagem eletromagnética.

Compatibilidade entre os materiais termoplásticos para soldagem eletromagnética		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
A	ABS	*	*		*				*						*		*
B	ABS/PC	*	*		*				*				*				
C	Acetal			*													
D	Acrílico	*	*		*				*								*
E	Celulósicos					*											
F	Noril (PPO modificado)						*						*				
G	Polibutileno							*									
H	Policarbonato	*	*		*				*					*	*		
I	Poliétileno									*							
J	Náilon 6/6,11,12										*						
K	Polipropileno											*					
L	Poliestireno						*						*				*
M	Polissulfonas		*						*					*			
N	Poliuretano	*							*						*		
O	PVC															*	
P	SAN	*			*								*				*

Fonte: GORDON (1993).

\* Materiais compatíveis

## D.2 - Geometria das uniões

As uniões usadas para o processo de soldagem eletromagnética são mostradas na Figura 4.39. Diferem levemente das uniões empregadas em outros processos de soldagem, pois é necessário projetar a área de soldagem de modo a conter o implante eletromagnético.

Segundo MALLOY (1994), as uniões mais utilizadas na prática são as uniões macho e fêmea e as uniões de encaixe. As configurações macho e fêmea e configurações planas com fenda são apropriadas para a união de componentes grandes e com superfície de união planas. As uniões de encaixe são recomendadas para situações de encaixe tipo tampa e caixa.

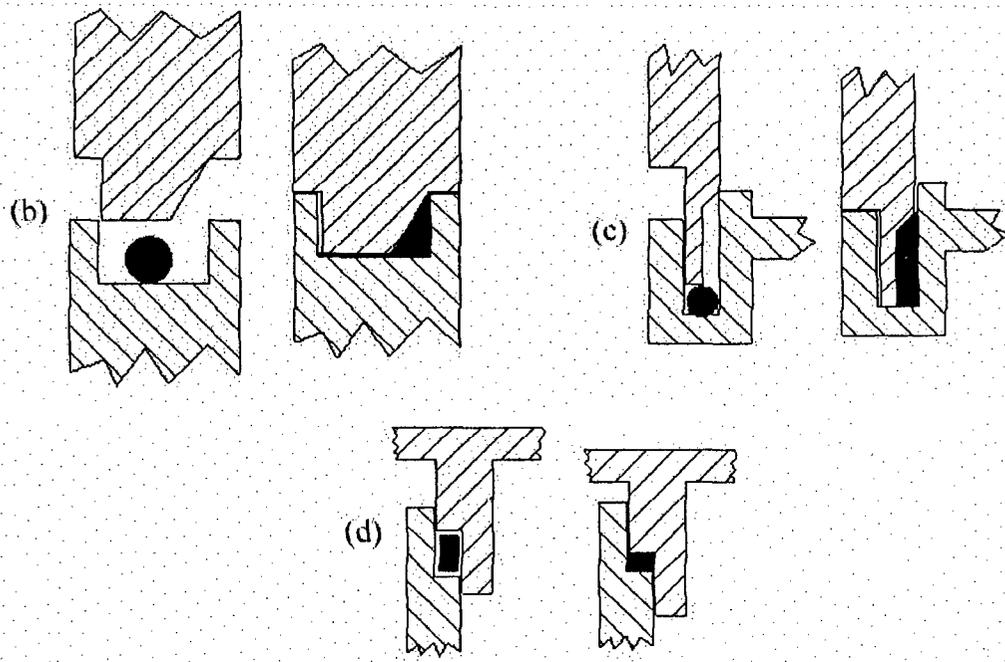


Figura 4.39 - Uniões para soldagem eletromagnética.

As uniões são projetadas de modo que o material fundido seja confinado na área da interface entre os componentes. A união soldada resultante apresenta uma aparência limpa.

### E - Soldagem por resistência

Este processo de soldagem assemelha-se ao processo de soldagem por ferramenta aquecida. Neste processo, um fio elétrico condutor é posicionado diretamente na interface da união. O fio está conectado a um circuito elétrico e é diretamente aquecido por meio de resistências elétricas. O calor do fio é transferido por condução térmica para os componentes em contato com o mesmo, que amolecem ou fundem na área de contato. Pressão é utilizada para assegurar o contato entre os componentes à medida que a energia elétrica é cortada, resfriando a área da solda.

O processo de soldagem é simples, barato, e é especialmente apropriado para componentes muito grandes devido a exigência mínima de equipamentos.

O processo de soldagem é lento e não é apropriado para a soldagem de componentes pequenos, pois depende diretamente da sensibilidade do soldador.

O fio utilizado, geralmente uma liga de Ni-Cr, permanece no interior da união após a soldagem. A presença do fio elétrico pode também exercer um efeito negativo sobre a resistência da solda acabada. Desse modo, este processo de soldagem é recomendado somente quando é requerido mínima resistência da união. Além disso, existe a possibilidade de corrosão.

Este processo de soldagem é utilizado em aplicações automobilísticas tais como painéis e pára-choques de veículos.

## **F - Soldagem por ferramenta aquecida**

A soldagem por ferramenta aquecida é um dos mais antigos processos de soldagem usados para unir componentes de plástico injetado. Este processo está perdendo competitividade em relação a outros processos porque é mais lento e não é facilmente automatizado.

Neste processo, um inserto ou placa metálica eletricamente aquecida é posicionado diretamente dentro da interface da união. A placa é geralmente feita de alumínio, alumínio-cobre, ou aço. A superfície do inserto é geralmente revestida com PTFE (politetrafluoretileno para evitar a aderência do plástico fundido na ferramenta. Os insertos metálicos são geralmente planos, mas formas mais complexas podem ser usadas para soldar uniões de perfis tridimensionais.

Conforme ROUSE (1985), o inserto está conectado a um circuito elétrico e é diretamente aquecido por meio de resistências elétricas em torno de 260<sup>o</sup>C. Os componentes plásticos são posicionados dentro de dispositivos fixadores. Para soldar as extremidades dos componentes, os fixadores são aproximados perpendicularmente ao plano de soldagem. Os fixadores promovem o contato sob pressão dos componentes com o inserto aquecido. O calor proveniente do inserto é transferido por condução térmica para o material plástico. Quando as extremidades dos componentes amolecem e fundem, os fixadores afastam os componentes e o inserto é rapidamente removido do interior da união. Novamente os fixadores aproximam os componentes aplicando pressão de contato sobre os mesmos para efetuar a solda. Após o resfriamento, os fixadores são separados e o componente soldado é removido.

Este processo também pode ser usado para soldar componentes de pequeno a grande tamanho produzidos em quase todos os materiais termoplásticos.

Este processo de soldagem é apropriado para unir componentes de superfícies de união planas. Este processo de soldagem pode ser adaptado para soldar superfícies de união circulares ou ovais. Este processo é apropriado para unir componentes que tem superfícies complexas com

vários planos de soldagem. O processo também é adequado para unir componentes de paredes finas profundas, as quais podem não tolerar os movimentos associados com processos tais como soldagem por vibração.

Conforme MALLOY (1994), por este processo, pode-se obter soldas com resistência à tração na faixa de 80 a 100% da resistência da resina base, se condições adequadas de processamento forem utilizadas. Assim, a união obtida pode ser tão forte quanto as resinas base constituintes.

Segundo ROTHEISER (1999), o processo de soldagem por ferramenta aquecida é um competidor direto da soldagem por vibração, pois as resistências das uniões e as compatibilidades dos materiais para os dois processos são aproximadamente equivalentes. Porém, os tempos de ciclo de soldagem e os custos de equipamento, energia e manutenção são maiores do que na soldagem por vibração.

Os tempos de soldagem variam com o volume de polímero a ser fundido e com a condutividade térmica do substrato. Os tempos de soldagem normalmente situam-se numa faixa de 5 a 60 segundos.

Entre as vantagens oferecidas por este processo de soldagem incluem-se a união de superfícies irregulares ou complexas, boa resistência da união soldada, possibilidade de obter vedações herméticas confiáveis e soldagem de materiais dissimilares.

Entre as desvantagens do processo, tem-se tempos longos de ciclos de soldagem. Este processo de soldagem é muito mais lento do que a soldagem ultrasônica e a soldagem por vibração. Conforme ROUSE (1985), para acelerar a velocidade de processamento, máquinas com capacidade de produção acima de 125 peças por minutos tem sido desenvolvidas. Estas máquinas simultaneamente carregam, soldam e transferem os componentes para outras estações de trabalho. Outras desvantagens do processo: necessidade de limpeza do equipamento; possibilidade de degradação de materiais plásticos tais como policarbonatos, polimetacrilatos, poliamidas, entre outros, os quais requerem temperaturas mais altas de soldagem; exigência de altas temperaturas.

O alto custo do equipamento está entre as desvantagens do processo. Segundo ROTHEISER (1999), o custo das unidades soldadoras é superior ao custo das unidades de tamanho equivalente para soldagem ultrasônica e soldagem rotacional. Todavia, o equipamento apresenta um custo menor do que as unidades soldadoras de tamanho equivalente para soldagem por vibração.

Outro ponto negativo deste processo de soldagem reside no elevado consumo de energia do equipamento, em relação a outros processos. Por tal motivo, muitas vezes o processo fica restrito à soldagem de grandes componentes ou quando o custo do equipamento para soldagem por vibração for proibitivo.

Este processo é comumente usado pra unir uma variedade de componentes ocós. Vários são os exemplos de aplicações deste processo de soldagem, tais como reservatórios de fluido de freio de polipropileno que sustentam pressões internas acima de 8 bar, tanques de combustível e caixas de bateria.

### **F.1 - Materiais**

O processo de soldagem por ferramenta aquecida pode ser usado para soldar quase todos os materiais termoplásticos, especialmente polietileno, polipropileno e ABS (acrilonitrila butadieno estireno). Polímeros amorfos são mais adequados do que polímeros semi-cristalinos para serem unidos por este processo de soldagem. Porém, o processo é apropriado para soldar polímeros semi-cristalinos macios ou mais dúcteis, tais como polietileno ou polipropileno, os quais podem ser difíceis de soldar por meio de outros processos.

Alguns materiais são difíceis de soldar por este processo, dentre os quais estão estireno butadieno, acrílico, estireno acrilonitrila, polietileno tereftalato, polibutileno tereftalato e náilon. Segundo ROUSE (1985), para soldar componentes de náilon, no lugar de um inserto metálico, usa-se uma lâmina fina de níquel-cromo, aquecida a uma temperatura em torno de 590<sup>0</sup>C.

Este processo é ideal para soldagem de materiais dissimilares compatíveis, usando-se para tanto dois insertos para compensar os dois diferentes pontos de fusão envolvidos. Componentes produzidos de materiais higroscópicos precisam ser secados antes da soldagem.

Resinas reforçadas não são recomendadas para este processo. Quanto maior for o nível de carga ou reforço, menor será a resistência da união obtida. Entretanto, termoplásticos reforçados podem ser soldados por este processo desde que a porcentagem de carga não exceda a 40% (ROTHERS, 1999).

### **F.2 - Geometria das uniões**

As configurações planas e suas variantes são as mais usadas pelo processo de soldagem por ferramenta aquecida, as quais são mostradas na Figura 4.40.

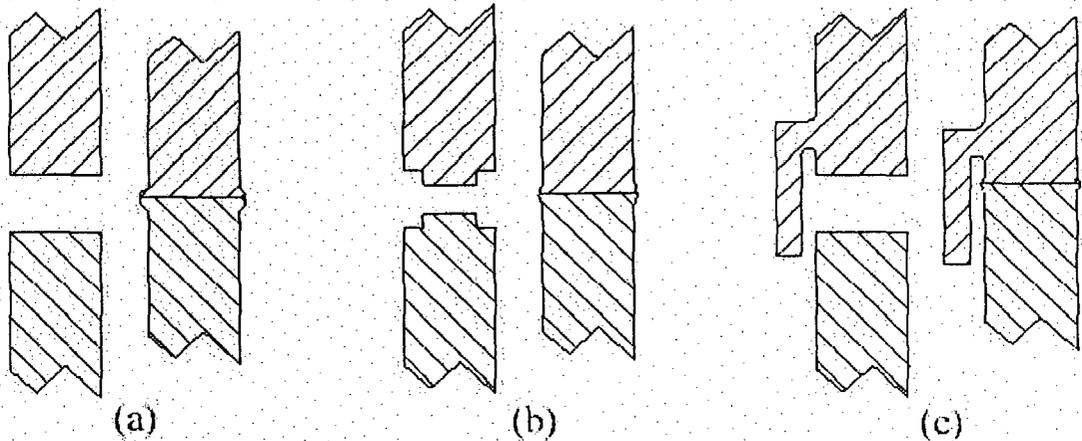


Figura 4.40 - Uniões para soldagem por ferramenta aquecida.

### G - Soldagem por gás aquecido

Neste processo de soldagem, um gás aquecido flui desde o bico de uma “tocha”, fundindo parcialmente o material de adição na forma de vareta sobre uma união com chanfro. Conforme MACHADO (1996), os gases são aquecidos entre 200 e 300°C, com vazão de 15 a 60 l/min, geralmente sendo empregados ar comprimido, nitrogênio (para os plásticos sensíveis ao oxigênio), hidrogênio, oxigênio e gás carbônico.

O equipamento usado é relativamente barato, simples e geralmente portátil. Entretanto, equipamentos mais automatizados e de maior escala de produção também estão disponíveis.

É importante que a vareta de soldagem seja constituída da mesma categoria de polímeros dos componentes a serem soldados. Entretanto, é prática comum usar uma vareta de soldagem que seja da mesma família de termoplásticos, resultando muitas vezes em diminuição da performance da união.

Entre as principais desvantagens do processo inclui-se a lentidão, por ser manual, o fato da quantidade de solda ser dependente do operador e a falta de estética da junta, sendo apenas funcional.

O processo não é muito usado para unir componentes moldados por injeção, visto que em função do tamanho destes, existem outros processos de soldagem mais apropriados. Contudo, este processo de soldagem é usado com pequenos componentes moldados por injeção em áreas que requerem reparos em condições de campo, reparo de componentes tais como pára-choques

de automóveis, e para a fabricação de protótipos de componentes de plástico. Este processo também é usado para fabricação de tanques ou reservatórios.

### G.1 - Materiais

Este processo de soldagem é aplicável para a maioria dos termoplásticos. Entre os termoplásticos usualmente soldados por este processo, encontram-se: PVC (o mais utilizado), polietileno, polipropileno, náilons, acrílicos (perspex, plexiglas), poliestireno, policarbonato, algumas blendas de ABS (acrilonitrila butadieno estireno). Este processo de soldagem não é adequado para materiais reforçados ou carregados.

### G.2 - Geometria das uniões

A geometria das uniões usadas para soldagem por gás aquecido são similares às usadas para a soldagem de metais. Os componentes a serem unidos devem apresentar uniões chanfradas em V como mostrado na Figura 4.41. Conforme MALLOY (1994), esta configuração de união apresenta a melhor resistência para esse processo de soldagem. As bordas devem estar limpas e secas para assegurar uma soldagem adequada.

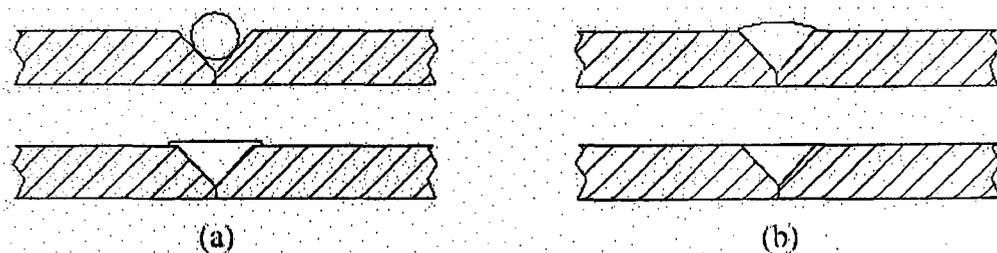


Figura 4.41 - Uniões para soldagem por gás aquecido.

### G.3 - Soldagem por extrusão

Este processo de soldagem representa uma evolução do processo de soldagem por gás aquecido. Este processo também usa ar ou gás aquecido para amolecer a área da interface em V dos componentes. Os chanfros são preenchidos, sob pressão, com um material idêntico ao da união, sendo que este material é extrudado. O material extrudado dentro da ferramenta de soldagem é depositado na interface da união a medida que a tocha é deslocada ao longo da

superfície de soldagem. Uma vez que o material esteja depositado na interface em V, pressão é aplicada por um sistema de rolos.

Este processo de soldagem é usado principalmente para a soldagem automatizada de grandes estruturas de perfis tipo lâminas. Assim como na soldagem por gás aquecido, o processo é usado na fabricação de tanques ou reservatórios.

Este processo de soldagem não é extensivamente utilizado para unir componentes moldados por injeção, visto que existem outros processos de soldagem mais adequados para o tamanho destes componentes.

Assim como no processo de soldagem por gás aquecido, os componentes a serem unidos devem apresentar uniões chanfradas em V.

#### **4.2.6 - Uniões por adesivos**

Segundo MALLOY (1994), a colagem por adesivos é uma técnica de união de componentes, onde os dois componentes são mantidos unidos por meio de atração superficial (ação capilar), também conhecido como entrefecho mecânico. O adesivo é uma substância capaz de manter os componentes unidos. A colagem por adesivos é amplamente usada como um meio de unir componentes termoplásticos e termofixos. Os adesivos podem ser usados para unir componentes de plásticos produzidos de polímeros de mesma base bem como podem também ser usados para unir materiais dissimilares.

Segundo ROTHEISER (1999), os adesivos são os principais competidores dos fixadores mecânicos para unir materiais termofixos, com a vantagem de que distribuem os carregamentos mecânicos sobre uma área de contato bem maior, minimizando assim a concentração de tensões e a possibilidade de ocorrência de consequentes falhas. Nos plásticos, a concentração de tensões pode conduzir a falha devido à fluência, relaxação de tensões e formação de trincas ou rachaduras.

Os adesivos são resinas, as quais podem ser de dois tipos: resinas termoplásticas e resinas termofixas. Os adesivos são polímeros, e como resultado, suas propriedades mecânicas são influenciadas pelo tempo, temperatura, umidade relativa e outros fatores ambientais.

O processo de colagem por meio de adesivos é um processo constituído de várias etapas. Começa com a aplicação do adesivo em um ou em ambos os substratos. O adesivo deve fluir de modo a ser distribuído sobre a superfície a ser unida. O adesivo molha as superfícies a serem unidas a medida que é espalhado sobre as mesmas e por meio de ação capilar. Na seqüência, os

componentes são pressionados temporariamente um contra o outro, e o adesivo sofre cura ao longo do tempo.

O método de aplicação dos adesivos pode ser manual, semi-automático ou automático. Aplicações manuais, apesar de serem lentas, oferecem as vantagens combinadas de simplicidade e baixo custo do equipamento. Por outro lado, as aplicações automatizadas provêm maior velocidade e maior repetibilidade, porém, geralmente requerem maquinaria de alto custo.

Os adesivos também podem resolver alguns problemas difíceis de montagem, particularmente se parafusos, engates integrais ou outros tipos de união não são possíveis e uma forte vedação hermética é requerida.

Os adesivos são versáteis e oferecem uma série de vantagens sobre outras técnicas de fixação: eliminam fixadores mecânicos, permitindo espessuras de paredes mais uniformes e mais finas, minimizando, portanto, a ocorrência de empenamentos; a eliminação de furos e das resultantes linhas de solda aumenta a resistência dos componentes; boa estética ou aparência da união colada; distribuição uniforme de tensões sobre toda a área de colagem; muitos adesivos apresentam a capacidade de absorver vibrações que podem conduzir à falha por fadiga; oferecem maior resistência à fadiga se comparados aos fixadores mecânicos; podem unir materiais dissimilares; podem prover uniões herméticas; adesivos flexíveis, permitem algum movimento entre os componentes da união, e por isso, podem compensar ou absorver a desigualdade de expansão térmica entre os componentes; adesivos flexíveis podem amortecer vibrações; podem ser usados com substratos finos e flexíveis; provêm isolamento elétrico e térmico; são relativamente baratos; geralmente não requerem equipamentos especiais para aplicação.

Segundo ROTHEISER (1999), o custo dos adesivos por unidade de peso pode parecer proibitivo. Entretanto, quando o custo do produto total é considerado, tanto as uniões por adesivos quanto as uniões por solventes são bastante competitivas em relação a outros tipos de uniões. O investimento inicial é muito baixo, e dependendo do número de fixadores requeridos, a união por adesivos podem requerer menor tempo de trabalho humano para efetuar a montagem dos componentes. Finalmente, a redução na espessura de parede, a qual pode ser possível através do uso de adesivos, reduzirá o custo de material e o custo de processamento dos componentes.

Há, contudo, um número de desvantagens associadas com o uso de adesivos. Estes fatores também devem ser cuidadosamente considerados antes de escolher esta técnica de união de componentes. Entre as principais desvantagens, incluem-se:

- Uniões permanentes: Assim como na maioria dos processos de soldagem, o uso de adesivos resulta geralmente em uniões permanentes ou não-desmontáveis, e portanto, não acessíveis para

manutenção ou reparo. Segundo MALLOY (1994), a exceção aplica-se às uniões obtidas por meio de adesivos aquecidos de baixo ponto de fusão, as quais podem ser desfeitas e refeitas somente algumas poucas vezes, caso necessário.

- Incerteza sobre o desempenho da união: O desempenho da união colada por adesivos não é facilmente previsível, visto que a ligação existente na maioria dos casos é a interface entre o adesivo e os componentes. Segundo MALLOY (1994), a resistência interfacial é influenciada pelas propriedades dos adesivos e pelas características superficiais dos componentes a serem colados. Entretanto, os efeitos da umidade e outros agentes do meio ambiente sobre a resistência interfacial não são facilmente determinados. Ainda segundo o autor, outros fatores relacionados a produção podem também influenciar a confiabilidade da união.

Por esses motivos, os adesivos são comumente usados em combinação com fixadores mecânicos mais confiáveis. Por exemplo, um número limitado de parafusos pode ser utilizado em combinação com um adesivo. Os fixadores mecânicos provêm uma medida de confiabilidade e segurança para a união. Os adesivos também reduzem o número de fixadores mecânicos que seriam requeridos. Além disso, os fixadores mantêm a união sob aperto, facilitando a cura do adesivo.

Segundo MALLOY (1994), a qualidade da união colada e a habilidade de trabalho com os adesivos será influenciada por variáveis como condições de armazenamento dos adesivos, grau de mistura dos componentes constituintes dos adesivos e condições do ambiente de serviço. Por exemplo, a resistência de uma união colada por adesivo epoxi de duas partes será influenciada pela idade dos componentes do adesivo, relação estequiométrica usada, procedimentos de mistura e condições de cura. Dispositivos automatizados asseguram uma correta relação estequiométrica, melhorando a repetibilidade do processo de colagem e a qualidade da união colada. A preparação de amostras para testes destrutivos é recomendada pelo autor para avaliar o desempenho e conseqüentemente a resistência da união.

- Superfícies de união limpas: Segundo MALLOY (1994), a resistência da união também é influenciada pela preparação superficial. Para ótimos resultados de colagem, as superfícies dos substratos devem estar limpas e secas. A preparação superficial pode ser mecânica, química ou elétrica. As superfícies geralmente devem ser preparadas antes do processo de colagem, ou seja, devem ser mantidas limpas e livres de óleo, de agentes desmoldantes, poeira ou de outros contaminantes superficiais. Isto se justifica pelo fato de que a preparação prévia das superfícies de união minimiza o potencial de falha da união. O uso de lubrificantes e agentes desmoldantes deve ser evitado sempre que possível, visto que pode ser difícil assegurar uma completa e

consistente remoção. O manuseio dos componentes também deve ser minimizado durante a colagem. O armazenamento dos componentes em sacos plásticos ou recipientes vedados e a automação reduzem o potencial de contaminação superficial. Adesivos uretanos e epoxis toleram superfícies que estão contaminadas com óleo, mas como uma regra, as uniões devem ser mantidas limpas e secas para melhores resultados.

- Tempo para alcançar a resistência máxima: Ao contrário de muitos fixadores mecânicos e processos de soldagem, as uniões coladas podem levar bastante tempo para alcançar seu valor máximo de resistência. Muitos mecanismos de cura envolvem a evaporação de um solvente, água, ou envolvem uma reação química. Todos estes eventos consomem tempo, que varia de poucos segundos a alguns dias. Os componentes a serem unidos precisam ser mantidos em contato sob pressão, através do uso de fixadores durante uma porção deste tempo, para assegurar que a união atinja a resistência desejada bem como para minimizar o empenamento do conjunto e a contração volumétrica. O tempo de cura ou tempo de evaporação pode também ser reduzido usando-se temperaturas elevadas, entretanto, isto pode resultar numa redução da resistência da união devido a um número de fatores. Temperaturas elevadas e curas mais rápidas podem resultar em vazios no material, tensões térmicas devido as diferenças de expansão, e uma tensão residual. Em alguns casos, entretanto, temperaturas elevadas são necessárias para alcançar a cura final e a resistência plena.

## **A - Tipos de adesivos**

Há muitos tipos diferentes de adesivos, cada um com propriedades diferentes. Os adesivos estão disponíveis em uma ampla variedade de resinas base e viscosidades. Os tempos de cura podem permitir ajustes finais e posicionamento dos componentes antes que a resistência plena da união seja alcançada. Adesivos contém uma variedade de substâncias, as quais são adicionadas para melhorar uma certa propriedade. Por exemplo, ativadores, aceleradores e agentes de cura podem ser usados para acelerar o processo de solidificação ou cura. Os adesivos estão distribuídos em sete grupos principais:

### **A.1 - Epóxis**

Este é o tipo de adesivo estrutural mais versátil e mais amplamente utilizado, estando disponível em uma grande variedade de formulações. São encontrados na forma líquida e em

pasta. São feitos em formulações de um ou dois componentes, sendo que um dos componentes é uma resina e a outra parte é um agente de cura, os quais devem ser misturados em proporções exatas para máxima resistência da colagem. Eles podem ser curados em temperatura ambiente ou em elevadas temperaturas. Epoxis de um componente não requerem mistura; entretanto, eles podem ser curados por aquecimento, geralmente ao redor de 148°C por uma hora ou mais. Epoxis curados por aquecimento tendem a exibir maior resistência do que suas partes misturadas. Entretanto, adesivos de dois componentes são mais amplamente usados porque podem ser armazenados por longos períodos de tempo e não são ativados antes da mistura. Ao contrário de outros adesivos, epoxis não são adesivos baseados em solventes, mas curam como resultado de uma reação química. Dentre as vantagens oferecidas tem-se: apresenta a maior resistência ao cisalhamento (35 a 69 MPa); boa adesão; alta resistência à tração; resistência à fluência; boa rigidez; facilidade de cura e boa resistência química. As desvantagens oferecidas são: pobre resistência pelicular (“peel strength”); não são recomendados para unir poliolefinas; são frágeis; baixa resistência à impactos; reduzida resistência à baixas temperaturas e alto custo. Eles podem ser modificados de modo a atender as necessidades mais variadas. Apresentam odor suave, toxicidade moderada, baixa flamabilidade, excelentes resistência à solventes e à umidade. Demandam equipamentos precisos para fazer a mistura e requerem superfícies limpas. Segundo ROTHEISER (1999), o custo dos adesivos epóxis por unidade de peso é inferior somente ao custo dos adesivos cianoacrilatos.

## A.2 - Acrílicos

Os adesivos acrílicos usados atualmente fazem parte de uma segunda geração. São disponíveis na forma líquida e em pasta. Estes adesivos melhorados apresentam muitos dos atributos encontrados nos adesivos epóxis e uretanos, além de oferecer a vantagem de raramente precisar de primers. Adesivos acrílicos são adesivos de duas partes, ou seja, a resina é aplicada em uma das superfícies e o primer é aplicado sobre a outra superfície a ser colada. Geralmente, os componentes do adesivo não precisam ser misturados, simplificando a aplicação. Os componentes podem permanecer distantes por semanas sem que ocorram efeitos deteriorantes. A cura ocorre rapidamente em temperatura ambiente com um tempo de pega (“setting time”) de aproximadamente 60 a 90 segundos. Uma vez que estão unidas, resistência ao manuseio é alcançada em poucos minutos e a cura total ocorre dentro de 30 minutos ou menos. A aplicação de aquecimento pode ser usado para reduzir os tempos de cura. As vantagens oferecidas: colam

superfícies sujas; alta resistência; superior tenacidade e cura rápida. As desvantagens são as seguintes: odor forte; problemas com flamabilidade e mínimo preenchimento de cavidade. Competem com os adesivos epóxis em resistência ao cisalhamento (em torno de 40 MPa), e conferem flexibilidade e superior resistência ao impacto e superior resistência pelicular (“peel strength”). Apresentam boa resistência à ação de solventes e umidade. Apresentam boa resistência à baixas temperaturas e à temperaturas entre 150 e 180 °C.

### **A.3 - Poliuretanos**

Esta família de adesivos, também chamada de uretanos, pode prover colagens fortes sobre uma variedade de substratos. São encontrados na forma líquida e em pasta. Uretanos são principalmente encontrados em aplicações que requerem alta resistência assim como flexibilidade. São disponíveis em sistemas de um ou dois componentes. Adesivos de um componente requerem aquecimento para a cura, enquanto adesivos de duas partes podem ser curados em temperatura ambiente. As vantagens oferecidas são as seguintes: tenacidade; flexibilidade; resistência à impactos; resistência ao cisalhamento; resistência à abrasão e alta resistência pelicular (“peel strength”). As desvantagens são: volatilidade; fluência excessiva; reduzida resistência em altas temperaturas; sensibilidade química; falta de durabilidade a longo prazo; geralmente necessitam de primers e são sensitivos à umidade no estado antes da cura. A resistência ao cisalhamento pode ser próxima a dos adesivos epóxis (em torno de 55 MPa). Apresentam odor suave, baixa flamabilidade, toxicidade moderada, boa resistência à solventes e resistência à umidade satisfatória. Segundo ROTHEISER (1999), adesivos poliuretanos podem ser utilizados para unir satisfatoriamente poliolefinas. Também são utilizados para unir materiais tais como náilon, ABS (acrilonitrila butadieno estireno) e policarbonato. Ainda conforme ROTHEISER (1999), os adesivos poliuretanos apresentam um custo por peso bem menor do que os adesivos epóxis.

### **A.4 - Anaeróbicos**

Adesivos anaeróbicos são resinas termofixas de um componente, nas quais o mecanismo de cura é ativado pela ausência de oxigênio. Entretanto, este sistema de cura pode ser combinado com outros mecanismos tais como aquecimento, primer, aceleradores, e luz ultravioleta. Isto elimina o problema de cura prematura. O processo de cura ocorre em temperatura ambiente e a

adição de calor ou radiação ultravioleta aumentará a velocidade do processo. O ciclo de cura pode ser tão curto quanto 15 segundos de tempo de pega (setting time), e a cura total leva de 2 a 24 horas para ocorrer. São encontrados na forma líquida. As vantagens oferecidas são as seguintes: boa resistência à solventes; boa flexibilidade da colagem; alta resistência pelicular (“peel strength”); boa resistência ao impacto e resistência ao cisalhamento em torno de 35 MPa. As desvantagens são as seguintes: sensitivos a contaminantes superficiais e apresentam pobres propriedades de preenchimento de cavidade. Apresentam odor suave, baixa toxicidade e flamabilidade. A principal aplicação deste tipo de adesivo é para prevenir o afrouxamento dos fixadores mecânicos tradicionais, submetidos à vibrações.

### **A.5 - Cianoacrilatos**

Competem com os adesivos anaeróbicos na facilidade de cura. São adesivos disponíveis na forma líquida ou gel. São os adesivos mais fáceis de serem aplicados e com o menor tempo de cura (2 a 3 segundos), e a cura total ocorre num período de 24 horas. A cura é iniciada pela presença de umidade superficial, proveniente do ar. As vantagens oferecidas são as seguintes: alta resistência à tração e nenhuma limitação de tempo de estocagem. Apresentam resistência ao cisalhamento em torno de 35 MPa. As desvantagens são as seguintes: fragilidade; geralmente não são sugeridos para unir materiais dissimilares; apresentam pobre preenchimento de cavidades; não são recomendados para constante exposição à água; requerem superfícies de união previamente limpas; apresentam limitada resistência à impacto; limitada resistência pelicular (“peel strength”) e limitada resistência química. Caracterizam-se também pela baixa toxicidade, baixa flamabilidade, e odor irritante. São resistentes à altas temperaturas (65-120°C), entretanto apresentam reduzida resistência à baixas temperaturas. Segundo BRASCOLA (2000), adesivos à base de cianoacrilato não aderem em polietileno, polipropileno, silicone e náilon; também não são recomendados para poliestireno. Conforme ROTHEISER (1999), cianoacrilatos são os adesivos de maior custo por unidade de peso.

### **A.6 - Adesivos aquecidos**

Conforme ROTHEISER (1999), adesivos aquecidos são basicamente termoplásticos, geralmente polipropileno, etileno vinil acetato (EVA), poliésteres, ou poliamidas. Polipropilenos oferecem boa adesão para poliolefinas e desempenho moderado, com resistência à temperaturas

de até 75<sup>0</sup>C. Etileno vinil acetatos tem desempenhos inferiores, com resistência ao calor na faixa de 50<sup>0</sup>C, porém apresentam um custo menor. Poliésteres provém desempenho moderado a alto, com resistência à temperaturas de até 95<sup>0</sup>C. Poliamidas oferecem alto desempenho, com resistência à temperaturas de até 150<sup>0</sup>C. Estes adesivos são aquecidos até que atingem um estado de amolecimento, sendo então aplicados aos substratos a serem unidos. Possibilitam colagens flexíveis e rígidas; alcançam oitenta por cento da sua resistência em segundos. Colam materiais permeáveis e impermeáveis e geralmente não requerem superfícies preparadas. São pouco sensíveis à umidade e a maioria dos solventes, mas amolecem em temperaturas elevadas. São pouco resistentes à baixas temperaturas. Apresentam baixa flamabilidade, reduzida toxicidade e odor moderado. São 100% sólidos. Estes adesivos são muito aplicados para a fabricação de brinquedos. Segundo MALLOY (1994), em certas aplicações, uma união obtida por meio de adesivo aquecido de baixo ponto de fusão, pode ser limitadamente desfeita e refeita, mediante o aquecimento da união à uma temperatura apropriada até que ocorra o amolecimento do adesivo.

#### A.7 - Silicones

São adesivos de um componente. Podem ser utilizados em uma ampla faixa de temperatura de operação. Apresentam vida longa e curam à temperatura ambiente. São relativamente flexíveis para projetos estruturais. Apresentam também excelente resistência aos raios ultravioleta e resistência ao ataque do ozônio. A grande capacidade de preenchimento torna-os ideais para muitas aplicações como vedantes. Apresentam baixa resistência à tração, boa resistência ao impacto, boa resistência pelicular (“peel strength”), resistência à baixas temperaturas (inferiores à 75<sup>0</sup>C), baixa toxicidade, baixa flamabilidade, odor moderado a irritativo, satisfatória resistência à solventes e boa resistência à umidade. Silicones são corrosivos e difíceis de limpar.

A tabela 4.4 mostra um resumido comparativo entre os principais tipos de adesivos.

Tabela 4.4 - Comparativo entre adesivos.

Propriedades	Tipos de Adesivos						
	Epóxi	Uretano	Cianoacrilato	Anacróbico	Acrílico	Adesivo aquecido	Silicone
Propriedades mecânicas							
Resistência à tração/cisalhamento	E	E	E	E	M-E	M-E	Ruim

Tabela 4.4 - Continuação.

Propriedades mecânicas	Epoxi	Uretano	Cianoacrilato	Anaeróbico	Acrílico	Adesivo aquecido	Silicone
Resistência pelicular/impacto	Bom	Muito bom	Ruim	Bom	Bom	Bom	Bom
Resistência à tração	E	E	E	E	Médio	R-E	Ruim
Resistência à solventes	E	Bom	Bom	E	Bom	M-B	Médio
Resistência à umidade	E	Médio	Ruim	Bom	Bom	M-B	Bom
<b>Cura</b>							
Tempo mínimo de cura para estado manuseável	5 min	5 min	<10s	5 min	2 min	Poucos segundos	2 h
Tempo para cura total na temperatura ambiente	<24 h	<24 h	<2 h	<12 h	<12h	-	2-5 dias
Aquecimento	Sim	Sim	Não	Não	Não	Sim	Não
Cura por ultravioleta	Sim	Não	Não	Sim	Não	Não	Sim
Nº de componentes	1 ou 2	2	1	1	2	1	1
<b>Manuseio</b>							
Toxicidade	Médio	Médio	Pequeno	Pequeno	P-M	Pequeno	Pequeno
Odor	Suave	Suave	Irritante	Suave	Forte	Suave	S-I
Flamabilidade	Pequeno	Pequeno	Pequeno	Pequeno	Alto	Pequeno	Pequeno
<b>Outras propriedades</b>							
Temperatura máxima de operação (°C)	200+	100	80	200	100	200	260
Limitação de preenchimento de lacunas (in.)	Nenhum	Nenhum	0.010	0.025	0.030	Nenhum	0.25
<b>Legenda:</b>							
E= excelente	M-B= médio à bom	M-E= médio à excelente	R-E= ruim à excelente				
I= irritante	S-I= suave à irritante	P-M= pequeno à médio					

## **C - Materiais**

Componentes termoplásticos e termofixos moldados por injeção podem ser unidos através de colagem por adesivos. Conforme MALLOY (1994), para que as superfícies a serem unidas sejam adequadamente molhadas (“wetting”), a energia superficial ou tensão superficial do substrato plástico deve ser maior do que a energia superficial do adesivo.

Muitos materiais plásticos apresentam baixas energias superficiais. O problema é preocupante para poliolefinas tais como polietileno ou polipropileno, e fluoropolímeros tais como PTFE (politetrafluoroetileno). Estes materiais tem energias superficiais muito baixas e inferiores as energias superficiais dos adesivos. Assim, de modo a melhorar a molhabilidade (“wettability”), a tensão superficial crítica dos componentes plásticos constituídos destes materiais pode ser aumentada por meio de tratamentos superficiais, dentre os quais estão oxidação por chama, descarga elétrica corona, e oxidação por banho de ácido.

A relação dos tipos de adesivos que podem ser utilizados para unir as principais combinações de materiais plásticos, é obtida em ROTHEISER (1999).

## **D - Seleção do adesivo**

Segundo MALLOY (1994), a seleção de um adesivo para uma aplicação particular é dependente de um grande número de fatores tais como: ambiente de uso, níveis de tensões, química superficial do substrato (s), rigidez do substrato (s), coeficiente de expansão térmica do substrato (s), requisitos de preenchimento de lacunas e método de aplicação.

Segundo GE (1999), ao se escolher um adesivo para uma aplicação específica, um conjunto de propriedades relativos a estes deve ser analisado. Dentre as propriedades incluem-se: faixa de temperatura de serviço; tempo de pega; tempo de cura; resistência à agentes químicos ambientais; resistência a ação de raios ultravioleta; resistência da união e estabilidade térmica a longo prazo. Facilidade de montagem, tempo de estocagem, requisitos de manuseio e potencial de toxicidade também devem ser considerados. A compatibilidade química com os substratos e a necessidade de preparação superficial também devem ser considerados antes que a escolha final seja feita. Na maioria dos casos, mais do que um tipo de adesivo preencherão os requisitos necessários.

Conforme ROTHEISER (1999), a seleção dos adesivos é feita após o projeto da união. A escolha dos adesivos é difícil porque depende de muitas variáveis que não podem ser facilmente

incorporadas em uma simples checagem de especificações. Além disso, existe em torno de 500.000 tipos diferentes de adesivos disponíveis no mercado. Assim, uma seleção otimizada é feita mediante a identificação de todos os adesivos potencialmente apropriados, com base em critérios funcionais e operacionais. Estes critérios foram desenvolvidos através da experiência em projeto.

Segundo GE (1999), estão disponíveis no mercados programas informatizados para a seleção dos adesivos mais apropriados para uma aplicação particular. Estes programas selecionam os adesivos em função da análise de uma serie de informações tais como temperatura de utilização, condições de operação, tipos de substratos, etc.

O adesivo introduzido na interface da união deve ser química, elétrica e mecanicamente compatível com ambos os substratos e com o ambiente de serviço. Em adição, o adesivo selecionado deve ter um coeficiente de expansão térmica similar ao dos substratos. Se os materiais a serem unidos forem dissimilares, o adesivo deve ser flexível. A seguir, são apresentadas algumas considerações mais detalhadas a respeito do que foi mencionado neste parágrafo.

- **Ambiente de uso**

Os adesivos são materiais plásticos e portanto tem propriedades que são altamente dependentes da temperatura, da umidade relativa e de outros fatores ambientais. Os adesivos selecionados deverão trabalhar corretamente dentro de condições ambientais extremas pré-estabelecidas. Isto pode ser um problema significativo visto que adesivos que trabalham bem em altas temperaturas podem se tornar frágeis em baixas temperaturas, ou adesivos que são duros em baixas temperaturas, tendem a ser mais moles ou macios em altas temperaturas.

Muitos adesivos apresentam resistência limitada em condições extremas de serviço, especialmente sob calor. Segundo FRADOS (1976), adesivos epoxis modificados e adesivos termofixos são capazes de resistir até 250°C sem sofrer degradação.

Efeitos ambientais a longo prazo ou o envelhecimento podem exercer uma influência sobre a química superficial e, conseqüentemente, sobre a resistência da colagem por adesivo. O processo onde uma fraca camada superficial preferencialmente desloca o adesivo na interface da união é conhecido como dessorção. Umidade presente tanto no polímero quanto no ambiente pode causar dessorção a longo prazo.

- **Nível de tensões**

Os níveis de carregamento influenciarão o projeto da união e a seleção do adesivo. Fatores tais como grau de carregamento, freqüência de carregamento e duração do carregamento

devem ser quantificados antes da seleção do adesivo. Em adição, o potencial de abuso ou uso incorreto também deve ser levado cuidadosamente em consideração.

A Figura 4.42 mostra os cinco tipos de tensões que podem atuar sobre uma junta colada por adesivo e que devem ser consideradas para a seleção de um adesivo: (a) tensão de tração, (b) tensão de compressão, (c) tensão pelicular (“peel”), (d) tensão de cisalhamento, e (e) tensão de clivagem (“cleavage”). As juntas devem ser projetadas de modo a suportar esses tipos de tensões.

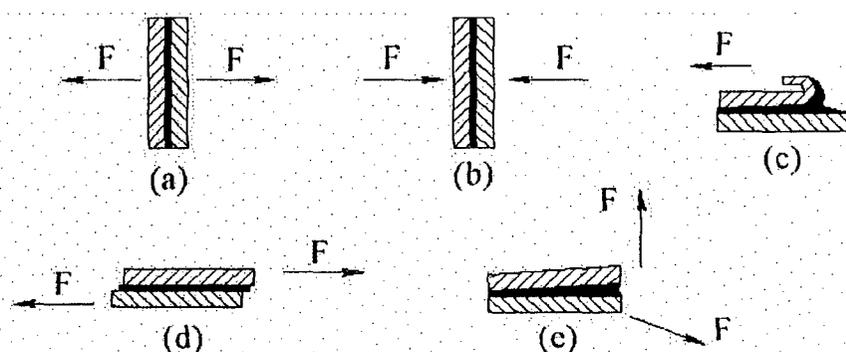


Figura 4.42 - Tensões atuantes que podem ocorrer numa união por adesivos.

- **Química superficial do substrato**

O adesivo selecionado deve efetivamente molhar e atrair as superfícies a serem unidas. As opções de adesivos disponíveis são limitadas quando os materiais a serem unidos têm valores muito baixos de energias superficiais. É também mais fácil selecionar um adesivo para aplicações onde os componentes a serem unidos são produzidos do mesmo polímero (por exemplo, unir ABS com ABS). Para uniões de materiais dissimilares, o adesivo deve ter uma afinidade com ambos os substratos.

- **Rigidez do substrato**

A rigidez de um substrato, relativa a rigidez do adesivo, em uma dada temperatura, representa um importante aspecto a ser considerado. Uniões coladas são geralmente projetadas de modo que as cargas de serviço colocam o adesivo em um estado de cisalhamento. Entretanto, em certos casos, isto pode não ser completamente alcançável e o adesivo está sujeito a outros menos desejáveis tais como tensões de flexão, clivagem (cleavage) ou peliculares (peel). Este problema pode surgir quando são colados componentes muito esbeltos, flexíveis ou componentes termoplásticos.

Adesivos rígidos tendem a apresentar baixa resistência pelicular visto que as tensões tendem a se concentrar numa pequena área do adesivo. Adesivos mais flexíveis distribuem as

tensões sobre uma área maior, resultando em uma maior resistência pelicular ou resistência à clivagem. Segundo MALLOY (1994), o uso de um adesivo abaixo da temperatura de transição vítrea pode resultar em baixas resistências pelicular e ao impacto.

- **Coefficiente de expansão térmica do substrato**

Os adesivos devem ser também selecionados de modo que a diferença relativa entre os coeficientes de expansão térmica do substrato e do adesivo seja a menor possível, minimizando consequentemente as deformações termicamente induzidas.

Em casos onde os dois substratos têm coeficientes de expansão térmica significativamente diferentes, o adesivo, idealmente, deve ter um coeficiente de expansão térmica cujo valor situa-se a meio caminho entre os coeficientes dos substratos, e deve ser suficientemente resistente ao cisalhamento para lidar com a diferença de coeficientes. Ajustes no valor do coeficiente de expansão térmica de um adesivo pode também ser feito usando-se cargas de reforço ou aditivos.

- **Requisitos de preenchimento de cavidades**

A planicidade e a aspereza das superfícies dos substratos determinam os requisitos de preenchimento de lacunas ou cavidades, do adesivo. Componentes plásticos podem geralmente ser moldados para tolerâncias bastante apertadas, entretanto, eles apresentam a tendência a empenar devido a orientação ou efeitos de contração. Os componentes são comumente flexíveis o suficiente de modo que fixadores podem ser usados durante o processo de colagem para corrigir o empenamento existente.

Adesivos aquecidos geralmente apresentam boa capacidade de preenchimento de cavidades, enquanto adesivos monoméricos tem viscosidade menor e pobre capacidade de preenchimento de cavidades.

## **E - Geometria da união**

Vários tipos de geometrias de uniões são usadas para a colagem por adesivo de componentes injetados. O projeto da união para colagem por adesivo tem um impacto significativo sobre a resistência da união obtida. As uniões devem ser projetadas de modo que o adesivo esteja sujeito a tensões de cisalhamento quando o componente está sob a ação de cargas em serviço. Projetos de uniões que resultam em tensões de flexão, clivagem ou tensões peliculares na interface do adesivo devem ser evitados.

O princípio de projeto de uma união é manter as concentrações de tensões as menores possíveis. Assim, para projetar uma união de acordo com os requisitos desejados, é necessário um total entendimento dos parâmetros que exercem uma influência significativa sobre a distribuição de tensões na junta colada, tais como direção dos carregamentos mecânicos, área de colagem, espessura da linha de colagem e os tipos de plásticos a serem unidos, etc.

As uniões devem ser projetadas de modo que os componentes sejam encaixados sem o auxílio de dispositivos fixadores, ou seja, sejam auto-posicionantes. Além disso, os componentes devem ser facilmente fabricados e esteticamente agradáveis.

Os diferentes tipos de geometrias de uniões para colagem por adesivos são mostrados na Figura 4.43 e descritos a seguir:

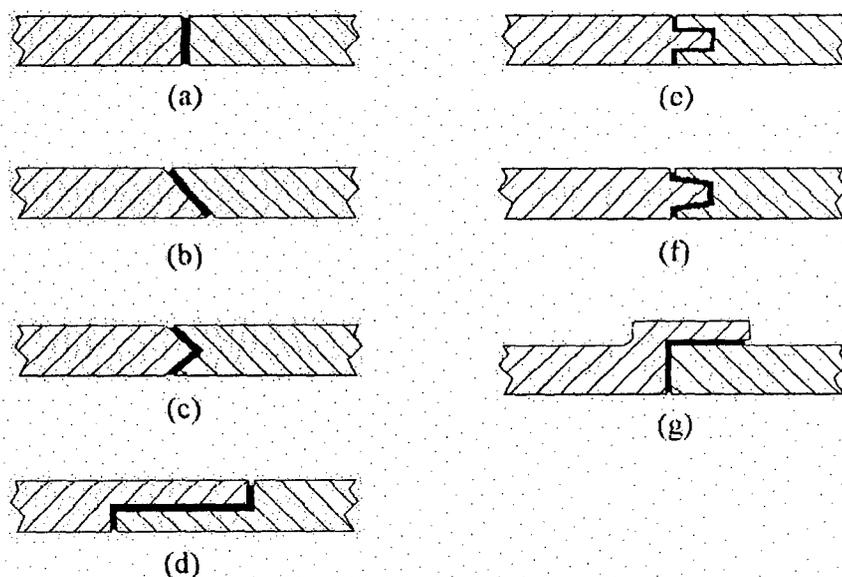


Figura 4.43 - Uniões para colagem por adesivos.

### E.1 - União plana

Esta união encontra-se ilustrada na Figura 4.43a. É o tipo de geometria de união mais simples, entretanto, sua configuração não é auto-posicionante e pode resultar em indesejável carregamento pelicular ou cargas de clivagem devido às tensões de dobramento. Cavidades podem ser incorporados na união para acomodar o excesso de adesivo.

### E.2 - União chanfrada

A união é mostrada na Figura 4.43b. Oferece alguns melhorias em relação a união plana, entretanto, outras uniões oferecem melhor posicionamento e desempenho.

### **E.3 - União V**

A união é mostrada na Figura 4.43c. Oferece bom posicionamento, assim como boa resistência ao cisalhamento e boa resistência à tração.

### **E.4 - União sobreposta**

Essa união é mostrada nas Figuras 4.43d e 4.43e. Provém alta resistência e alinhamento dos componentes.

### **E.5 - União macho e fêmea**

As uniões são mostradas respectivamente nas Figuras 4.43f e 4.43g. Provém alta resistência e alinhamento dos componentes. Podem exigir aumento local na espessura de parede e controle relativamente apertado das tolerâncias. As uniões macho e fêmea são amplamente empregadas em componentes moldados por injeção.

#### **4.2.7 - Uniões por solventes**

A união por solvente é uma técnica comum usada para unir componentes moldados em resinas termoplásticas amorfas, tais como POM (polioximetileno), ABS (acrilonitrila butadieno estireno), PVC (policloreto de vinila) e PS (poliestireno). Este é na verdade um processo de soldagem onde a mobilidade molecular e a interdifusão são facilitadas usando-se solvente em lugar de energia térmica.

A união por solvente é um processo de união simples e relativamente barato. Pode ser usado para produzir uniões fortes e herméticas.

As superfícies de união dos componentes são tratadas com um solvente, o qual tende a dilatar, dissolver e amolecer as superfícies. Os componentes são mantidos em contato, sob pressão, por um período de tempo que varia de segundos a minutos dependendo do projeto da união e do solvente usado. As moléculas superficiais dos substratos misturam-se, e os componentes colam quando o solvente evapora. O tempo de fusão é função direta da taxa de evaporação e pode ser encurtado mediante aquecimento. Os componentes são removidos do equipamento fixador e deixados em descanso por algumas horas, geralmente de 21 a 48 horas (GE, 1999) até que a resistência máxima da união seja alcançada, a qual pode aproximar-se da resistência da resina base. Aquecimento pode ser usado para acelerar a taxa de evaporação do solvente e reduzir o tempo do ciclo.

O tempo para a obtenção da união é relativamente grande, visto que o solvente é geralmente aplicado manualmente. A quantidade de solvente usada deve ser mínima de modo a evitar gotejamento ou encharcamento bem como potencial para formação de rachaduras.

Segundo ROTHEISER (1999), os solventes atuam como agentes que promovem alívio de tensões, o que pode causar a formação de rachaduras ou trincas nas regiões onde há concentração de tensões (por exemplo, pontos de injeção). Por isso é importante evitar o contato do solvente com as áreas do componente onde há concentração de tensões.

A baixa viscosidade do solvente exige que os componentes a serem colados estejam isentos de empenamento e tenham tolerâncias relativamente apertadas. Para preencher as lacunas existentes nas superfícies de união de componentes empenados, pode-se usar solventes reforçados com uma resina.

Os componentes a serem unidos por esse processo devem ser moldados com um mínimo de tensões internas, e em muitos casos são recozidos ou passam por um tratamento de alívio de tensões previamente à colagem.

As uniões por solventes provém muitas vantagens: distribuição de tensões sobre toda a área de colagem; estética excelente; possibilidade de prover vedação hermética.

Algumas desvantagens associadas com o processo são as seguintes: os componentes não podem ser desunidos; os vapores liberados podem ser perigosos para a saúde; praticidade somente com materiais amorfos; exigência de tolerâncias rígidas para os componentes, sendo necessárias para produzir um adequado encaixe dos mesmos.

Infelizmente, as uniões por solventes representam um risco para a saúde e o meio ambiente, estando o seu uso sujeito a uma grande quantidade de regras. O contato direto com os solventes deve ser sempre evitado. Equipamentos de proteção pessoal e ventilação devem ser utilizados. Assim, o uso desse processo está limitado somente para aplicações onde outros tipos de uniões não são adequados.

## **A - Materiais**

O processo é comumente utilizado para unir componentes termoplásticos amorfos visto que a maioria dos termoplásticos semi-cristalinos tem boa resistência à solventes.

Este processo é ideal para unir componentes termoplásticos produzidos do mesmo material, entretanto, o processo pode ser usado para unir materiais dissimilares somente se estes forem solúveis em um solvente comum, ou solúveis em uma mistura de dois solventes

específicos para os diferentes polímeros. Os coeficientes de expansão térmica para materiais dissimilares devem também estar bem sintonizados, visto que não há uma camada intermediária, tal como um adesivo flexível, entre os dois materiais para compensar a desigualdade de expansão térmica.

## B - Seleção do solvente

A seleção do solvente é baseada em uma série de fatores tais como tempo de trabalho, volatilidade ou pressão de vapor, parâmetro de soldabilidade, segurança, e potencial para formação de rachaduras ou fissuras. Em muitos casos misturas de solventes são usadas para obter um balanço de propriedades. Na tabela 4.5 é mostrada uma lista de solventes utilizados.

Tabela 4.5 - Solventes utilizados para unir termoplásticos amorfos.

Termoplásticos amorfos a serem unidos	Solventes eficientes
PPO+PPO	Tricloretileno Tricloretileno /Cloro de metileno 1:1 Tricloretileno /Monoclorobenzeno 4:1 Tricloretileno /Dicloroetileno 1:1
ABS (acrilonitrila butadieno estireno)	Acetona Cloro de metileno MEK
(PPO modificado) + ABS	Tricloretileno /MEK 4:1
(PPO modificado) + PVC	Xileno/MEK 1:1

FONTE: GE (1999).

## C - Geometria das uniões

As superfícies de união devem ser planas bem como permitir tolerâncias dimensionais muito apertadas. Uniões macho e fêmea podem ser usadas se forem relativamente rasas ou pouco profundas, de modo que a penetração e acúmulo de solvente seja evitado no interior da união, o que pode causar rachaduras a longo prazo bem como levar à falha do componente.

Exemplos de uniões para colagem por solventes são apresentados na Figura 4.44.

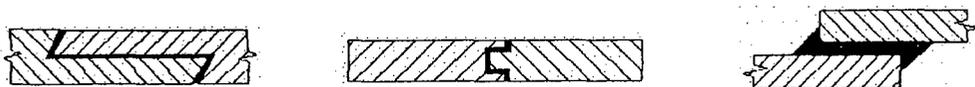


Figura 4.44 - Uniões para colagem por solventes.

### 4.3 - Classificações dos princípios de uniões de componentes

Diversas classificações tem sido propostas na literatura. Segundo CREAMER (1968), existem três categorias genéricas: removíveis, semipermanentes e permanentes. Removíveis são aqueles métodos ou fixadores que podem ser facilmente removidos com ferramentas manuais e sem destruição dos componentes. Nesta categoria incluem-se porcas e parafusos passantes. Tipos semipermanentes são aqueles que podem ser facilmente removidos, porém com algum dano resultante para o fixador. Exemplos dessa categoria são parafusos e/ou porcas contendo inserto feito de náilon e contrapinos. Tipos permanentes são aqueles que são instalados para ficar permanentemente na posição, não podendo ser removidos para manutenção de rotina. Rebites e soldagem fazem parte desta categoria.

DEUTSCHMAN et al. (1975), classifica as uniões em duas categorias: destacáveis e permanentes. Como exemplo de fixadores destacáveis o autor inclui parafusos, contrapinos e chavetas e entre os fixadores permanentes menciona os rebites, soldagem e colagem por adesivo.

Segundo TRUCKS (1988), os componentes podem ser unidos por meio de três alternativas: fixadores rosqueados, pressão, e calor. Conforme o autor, a fixação por pressão constitui-se num dos melhores métodos para montagem automatizada, sendo que os métodos mais comuns de fixação por pressão são rebitagem e ajuste por interferência. Entre as técnicas de fixação por calor incluem-se a soldagem e a brasagem, caracterizando uniões permanentes.

Conforme ANDREASEN (1988), a união de componentes pode ser obtida de três maneiras: por meio de forma (empacotamento, embutimento, enchimento, etc); força (com o auxílio de fricção ou força de campo tipo magnetismo, etc) e por meio de material (colagem por adesivos, soldagem, etc). Também menciona outra classificação, na qual as uniões podem ser obtidos de 6 maneiras: enchimento (gás, líquido, material sem forma); interferência (união por cunha, aparafusamento, compressão, contração, rebitagem, união por pregos, etc); mudanças de fase (fundição, forjamento, etc); mudança de forma (rebitagem, dobramento, laminação, etc); por meio de material (soldagem, colagem, etc); por outros meios (costura, amarração, empacotamento, entrançamento, etc).

OBREGÓN et al (1986) classifica as uniões de componentes através de 4 critérios:

- Segundo o modo como se realiza a união:
  - Uniões por forma: neste tipo de união, os componentes constituintes encaixam-se entre si, mantendo-se unidos pelas suas formas. Exemplos: insertos; roscas moldadas (usadas em conjuntos tampa e frasco) e uniões por interferência.

- Uniões por força: obtidas através da utilização de elementos ou componentes com forma própria, geralmente independentes dos componentes a serem unidos. Estes elementos exercem força sobre os componentes, efetuando, desse modo, a união. Exemplos: dobradiças; pinos; pregos; parafusos e rebites.
- Uniões por material: caracterizam-se pelo fato de que os materiais dos componentes a serem unidos se integram e formam um componente único. Exemplos: processos de soldagem de plásticos.
- Uniões amorfas: uniões obtidas por meio de materiais amorfos com propriedades adesivas que são aplicados entre os componentes. Exemplos: adesivos.

□ Segundo o tipo de relacionamento entre os componentes:

- Uniões diretas: não necessitam de elementos externos para unir os componentes. Exemplos: insertos; roscas moldadas (tampa e frasco); soldagem de plásticos e união por interferência.
- Uniões indiretas: necessitam de elementos externos para unir os componentes. Exemplos: adesivos; pinos; pregos; grampos; parafusos; rebites e dobradiças.

□ Segundo o tempo de permanência da união:

- Uniões desmontáveis: podem ser montadas e desmontadas reversivelmente inúmeras vezes, permitindo manutenção, reparo ou limpeza. Exemplos: pinos; parafusos passantes; parafusos prisioneiros e dobradiças.
- Uniões limitadamente desmontáveis: permitem um número limitado de desmontagens. Exemplos: roscas moldadas, formando um conjunto tampa e pote.
- Uniões não-desmontáveis: não são desmontáveis, a menos que se destrua o elemento de união, o que pode acarretar em danificação/destruição da junta e dos componentes unidos. Exemplos: adesivos; insertos; rebites e processos de soldagem de plásticos.

□ Segundo o tipo de força de interação entre os componentes:

- Uniões por tração e/ou compressão: quando existem forças sobre os componentes a serem unidos. Exemplos: pinos; pregos; grampos; parafusos; roscas moldadas (tampa e frasco) e dobradiças.
- Uniões por deformação/esmagamento: tipo de união onde as forças que mantêm os componentes unidos provocam deformação permanente. Exemplos: grampos; insertos e rebites.

- Uniões por adesão: ocorre quando os componentes são unidos devido a forças de adesão propiciadas por um material que é colocado entre eles. Exemplo: adesivos.
- Uniões por integração: este tipo de união ocorre quando os componentes são agrupados e integrados em uma estrutura única. Exemplo: processos de soldagem de plásticos.
- Uniões por peso e gravidade: ocorre em determinadas posições, quando a ação da gravidade da terra coincide com a posição de montagem.

#### 4.4 - Classificações propostas para uniões de componentes de plástico injetado

Os sistemas de classificação para os princípios de uniões de componentes diferem basicamente entre si pelos critérios de classificação utilizados. Grande parte desses critérios é de difícil utilização e compreensão em um processo de seleção do princípio de união de componentes. Assim, neste trabalho é proposto um novo sistema de classificação para os princípios de uniões de componentes, o qual será aplicado ao domínio dos componentes de plástico injetado. Os atuais sistemas de classificação foram unificados, identificando-se para tanto os critérios presentes simultaneamente no maior número possível de sistemas de classificação e que atendessem aos seguintes requisitos: facilidade de utilização e compreensão em um processo de seleção do princípio de união de componentes; para cada critério deve existir duas classificações possíveis. Também foram identificados entre os demais critérios de classificação, aqueles que fossem adequados aos requisitos pré-estabelecidos para o novo sistema. Feito isso, verificou-se a possibilidade de propor novos critérios de classificação com base também nos requisitos pré-estabelecidos.

Os critérios de classificação definidos para o novo sistema são os seguintes: **(1) reversibilidade; (2) mobilidade; (3) estanqueidade e (4) acessibilidade.**

O critério da reversibilidade é comum a maioria dos sistemas de classificação. Os demais são novos critérios de classificação.

Cogitou-se em adotar outros critérios de classificação tais como facilidade de fabricação, custos e volume de produção. Porém em virtude da escassez de informações que conduzissem à geração de classificações para estes critérios bem como devido à necessidade de numerosas classificações, decidiu-se pela não utilização desses critérios.

Cabe ressaltar que os princípios ou tipos de uniões de componentes de plástico injetado serão classificados com base na descrição e caracterização feita no item 4.2.

#### 4.4.1 - Classificação quanto à reversibilidade da união

Os princípios de uniões de componentes de plástico injetado são classificados quanto à reversibilidade em **reversíveis** ou **permanentes**.

Uma união reversível é aquela que pode ser desfeita e refeita novamente, permitindo desse modo manutenção, reparo, ou substituição de componentes do produto, caso necessário.

Uma união permanente é aquela que ao ser efetuada não pode ser posteriormente desfeita, a menos que seja destruído o elemento de fixação, o que pode resultar em danificação ou estrago dos componentes da união. Portanto, este tipo de união não permite manutenção, reparo ou substituição dos componentes do produto.

A classificação dos princípios de uniões de componentes de plástico injetado quanto à reversibilidade, é apresentada na Tabela 4.6.

Tabela 4.6 - Classificação dos princípios de uniões quanto à reversibilidade.

Classificação quanto à reversibilidade			
Princípios de uniões		União reversível	União permanente
Dobradiças	integradas		•
	pino e tubo		•
	de encaixe rápido		•
	esfera e embocadura		•
	de 3 componentes		•
Uniões por interferência		•	
Engates integrais	anulares		•
	viga e gancho		•
	esfera e embocadura		•
Parafusos	passantes		•
	simples		•
	autoatarraxantes	cortadores de rosca	•
		formadores de rosca	•
	prisioneiros		•
Rebites	tubulares	pequenos	•
		de compressão	•
		bifurcados	•
		perfurantes	•

Tabela 4.6 - Continuação.

Princípios de uniões			União reversível	União permanente
Rebites	cegos			•
Insertos rosqueados	moldantes		•	
	não-moldantes	interferência a frio	•	
		autoatarraxantes	•	
		inserção ultrasônica	•	
		inserção térmica	•	
		expansivos	•	
Soldagem	ultrasônica			•
	por vibração			•
	rotacional			•
	por resistência			•
	por ferramenta aquecida			•
	por gás aquecido			•
	eletromagnética		•	
Adesivos	epóxis			•
	acrílicos			•
	poliuretanos			•
	anaeróbicos			•
	silicones			•
	cianoacrilatos			•
	adesivos aquecidos		•	•
Solventes				•

#### 4.4.1.1 - Classificação quanto à restrição de desmontagem

As uniões reversíveis ainda são sub-classificadas quanto à restrição de desmontagem em **reversíveis sem restrição** ou **reversíveis com restrição**.

Uma união reversível sem restrição de desmontagem é aquela que pode ser desfeita e refeita inúmeras vezes sem danificação ou estrago dos componentes da junta e/ou do elemento de fixação. Uma união reversível com restrição de desmontagem é aquela que pode ser desfeita e refeita somente algumas vezes, pois pode ocorrer danificação ou estrago dos componentes da junta e/ou do elemento de fixação.

A classificação dos princípios de uniões reversíveis de componentes de plástico injetado quanto à restrição de desmontagem é apresentada na Tabela 4.7.

Tabela 4.7 - Classificação dos princípios de uniões reversíveis quanto à restrição de desmontagem.

Classificação quanto à restrição de desmontagem				
Princípios de uniões reversíveis		União reversível sem restrição	União reversível com restrição	
Dobradiças	integradas		•	
	pino e tubo		•	
	de encaixe rápido		•	
	esfera e embocadura		•	
	de 3 componentes		•	
Uniões por interferência		•		
Engates integrais	anulares		•	
	viga e gancho		•	
	esfera e embocadura		•	
Parafusos	passantes		•	
	simples			•
	autoatarraxantes	cortadores de rosca		•
		formadores de rosca		•
	prisoneiros		•	
Insertos rosqueados	moldantes		•	
	não-moldantes	interferência a frio		•
		autoatarraxantes		•
		inserção ultrasônica		•
		inserção térmica		•
		expansivos		•
Soldagem eletromagnética			•	
Adesivos aquecidos			•	

#### 4.4.2 - Classificação quanto à mobilidade dos componentes

As uniões de componentes de plástico injetado são classificadas quanto à mobilidade dos componentes em **estáticas** ou **móveis**.

As uniões estáticas caracterizam-se pelo fato de que os componentes constituintes não apresentam movimento relativo entre si. Por outro lado, as uniões móveis permitem movimento relativo entre os componentes.

A classificação dos princípios ou tipos de uniões de componentes de plástico injetado quanto à mobilidade, é apresentada na Tabela 4.8.

Tabela 4.8 - Classificação dos princípios de uniões quanto à mobilidade.

Classificação quanto à mobilidade			
Princípios de uniões		União móvel	União estática
Dobradiças	integradas		•
	pino e tubo		•
	de encaixe rápido		•
	esfera e embocadura		•
	de 3 componentes		•
Uniões por interferência			•
Engates integrais	anulares		•
	viga e gancho		•
	esfera e embocadura		•
Parafusos	passantes		•
	simples		•
	autoatarraxantes	cortadores de rosca	•
		formadores de rosca	•
	prisioneiros		•
Rebites	tubulares	pequenos	•
		de compressão	•
		bifurcados	•
		perfurantes	•
	cegos		•
Insertos rosqueados	moldantes		•
	não-moldantes	interferência a frio	•
		autoatarraxantes	•
		inserção ultrasônica	•
		inserção térmica	•
		expansivos	•
Soldagem	ultrasônica		•

Tabela 4.8 - Continuação.

Princípios de uniões		União móvel	União estática
Soldagem	por vibração		•
	rotacional		•
	por resistência		•
	por ferramenta aquecida		•
	por gás aquecido		•
	eletromagnética		•
Adesivos	epóxis		•
	acrílicos		•
	poliuretanos		•
	anaeróbicos		•
	silicones		•
	cianoacrilatos		•
	adesivos aquecidos		•
Solventes		•	

#### 4.4.3 - Classificação quanto à estanqueidade da união

Os princípios de uniões de componentes de plástico injetado são classificados quanto à estanqueidade em **vedantes** ou **não-vedantes**.

Algumas aplicações requerem uniões herméticas à presença de fluidos diversos, tais como gases e líquidos. Para tanto, nessas aplicações, os elementos de fixação ou união devem manter os fluidos retidos em um dos lados da junta, garantindo assim a estanqueidade do conjunto. Muitas vezes, a estanqueidade da união somente é obtida mediante a utilização de elementos de vedação específicos, tais como gaxetas e anéis. Como o próprio nome diz, as uniões vedantes possibilitam vedações herméticas à presença de fluidos diversos.

A classificação dos princípios de uniões de componentes de plástico injetado quanto à estanqueidade, é apresentada na Tabela 4.9.

Tabela 4.9 - Classificação dos princípios de uniões quanto à estanqueidade.

Classificação quanto à estanqueidade			
Princípios de uniões		União vedante	União não-vedante
Dobradiças	integradas	•	•
	pino e tubo		•

Tabela 4.9 - Continuação.

Princípios de uniões			União vedante	União não-vedante
Dobradiças	de encaixe rápido			•
	esfera e embocadura			•
	3 componentes			•
Uniões por interferência			•	
Engates integrais	anulares			•
	viga e gancho			•
	esfera e embocadura			•
Parafusos	passantes		•	•
	simples		•	•
	autoatarraxantes	cortadores de rosca	•	•
		formadores de rosca	•	•
	prisoneiros		•	•
Rebites	tubulares	pequenos	•	•
		de compressão	•	•
		bifurcados	•	•
		perfurantes	•	•
	cegos		•	•
Insertos rosqueados	moldantes		•	•
	não-moldantes	interferência a frio		•
		autoatarraxantes		•
		inserção ultrasônica		•
		inserção térmica		•
expansivos			•	
Soldagem	ultrasônica		•	•
	por vibração		•	•
	rotacional		•	•
	por resistência		•	•
	por ferramenta aquecida		•	•
	por gás aquecido		•	•
	eletromagnética		•	•
Adesivos	epóxis		•	•
	acrílicos		•	•
	poliuretanos		•	•
	anaeróbicos		•	•
	silicones		•	•

Tabela 4.9 - Continuação.

Princípios de uniões		União vedante	União não-vedante
Adesivos	cianoacrilatos	•	•
	adesivos aquecidos	•	•
Solventes		•	•

#### 4.4.4 - Classificação quanto à acessibilidade da união

Os princípios de uniões de componentes de plástico injetado são classificados quanto à acessibilidade em **uniões de acesso unilateral** ou **uniões de acesso bilateral**.

A união será classificada como unilateral quando requisitar acesso para montagem e/ou desmontagem em somente um dos lados da junta. Se a união requisitar acesso para montagem e/ou desmontagem em ambos os lados da junta, será classificada como bilateral. Por exemplo, uma união por parafuso passante é classificada como bilateral, pois em um dos lados é inserido o parafuso, e no lado oposto é inserida a porca.

A classificação dos princípios ou tipos de uniões de componentes de plástico injetado quanto à acessibilidade, é apresentada na Tabela 4.10.

Tabela 4.10 - Classificação dos princípios de uniões quanto à acessibilidade.

Classificação quanto à acessibilidade				
Princípios de uniões		União unilateral	União bilateral	
Dobradiças	integradas	•		
	pino e tubo	•		
	de encaixe rápido	•		
	esfera e embocadura	•		
	de 3 componentes	•		
Uniões por interferência		•		
Engates integrais	anulares	•	•	
	viga e gancho	•	•	
	esfera e embocadura	•	•	
Parafusos	passantes		•	
	simples	•		
	autoatarraxantes	cortadores de rosca	•	
		formadores de rosca	•	

Tabela 4.10 - Continuação.

Princípios de uniões			União unilateral	União bilateral
Parafusos	prisoneiros		•	
Rebites	Rebites tubulares	pequenos		•
		de compressão		•
		bifurcados		•
		perfurantes		•
	cegos		•	
Insertos	moldantes		•	
rosqueados	não-moldantes	interferência a frio	•	
		autoatarraxantes	•	
		inserção ultrasônica	•	
		inserção térmica	•	
		expansivos	•	
Soldagem	ultrasônica		•	
	por vibração		•	
	rotacional		•	
	por resistência		•	
	por ferramenta aquecida		•	
	por gás aquecido		•	
	eletromagnética		•	
Adesivos	epóxis		•	
	acrílicos		•	
	poliuretanos		•	
	anaeróbicos		•	
	silicones		•	
	cianoacrilatos		•	
	adesivos aquecidos		•	
	Solventes		•	

#### 4.5 - Considerações finais

Realizou-se neste capítulo, o levantamento e caracterização dos principais princípios de uniões de componentes de plástico injetado. As uniões de componentes de plástico injetado podem ser obtidas por meio de parafusos, insertos, rebites, engates integrais, dobradiças, interferência, processos de soldagem, adesivos e solventes. Na sequência, foram mostradas as

diversas classificações existentes na literatura para os princípios ou tipos de uniões. Finalizando o capítulo, foi proposto um novo sistema de classificação para os princípios de uniões de componentes de plástico injetado.

Este capítulo encerrou a revisão bibliográfica. Através da realização dessa revisão, buscou-se obter subsídios para a sistematização da seleção de princípios de uniões de componentes de plástico injetado.

## CAPÍTULO 5 - SISTEMÁTICA PARA SELEÇÃO DE PRINCÍPIOS DE UNIÕES DE COMPONENTES DE PLÁSTICO INJETADO

### 5.1 - Introdução

Conforme previamente abordado, as atuais metodologias de projeto fornecem poucas indicações sobre procedimentos relativos a projetos das interfaces e de uniões dos componentes de um produto. De fato, as alternativas de concepção para os componentes do produto são combinadas na matriz morfológica sem maiores preocupações com as uniões existentes entre estes. Como observado anteriormente, as uniões de componentes de plástico injetado podem ser obtidas por meio de dobradiças, interferência, engates integrais, parafusos, rebites, insertos, adesivos, solventes e processos de soldagem.

De um modo geral verifica-se uma grande lacuna entre a transição do projeto conceitual para o projeto preliminar, devido à inexistência de uma sistemática para a seleção de princípios de uniões de componentes de plástico injetado que inclua um conjunto de parâmetros tais como condições de serviço/ambiente, carregamentos mecânicos, facilidade de montagem/desmontagem, materiais utilizados, etc. Na realidade, na seleção do princípio ou tipo de união de dois ou mais componentes existem somente indicações isoladas, não incluindo as interações existentes. Como exemplo de recomendações isoladas, incluem-se: “se houver necessidade de manutenção ou reparo de componentes, não usar uniões soldadas, as quais são permanentes”.

A moldagem por injeção não é capaz de produzir todos os tipos e tamanhos de estruturas. Conseqüentemente, muitas vezes a alternativa de melhor custo benefício é moldar dois ou mais componentes em separado, efetuando-se posteriormente a união destes através de um ou mais tipos de uniões.

Conforme mencionado anteriormente, para a maioria dos produtos, as funções ocorrem nas interfaces existentes entre os componentes constituintes (ULLMAN, 1992). Para que o produto desempenhe efetivamente as suas funções, tais componentes precisam estar conectados da melhor maneira possível. Isto depende diretamente da seleção correta do princípio de união mais adequado para os componentes adjacentes em questão.

Desse modo, é proposta uma sistemática para a seleção de princípios de uniões de componentes de plástico injetado, a qual será apresentada a seguir.

## 5.2 - Sistemática para seleção de princípios de uniões de componentes de plástico injetado

O fluxograma representado na Figura 5.1, ilustra a sistemática para seleção de princípios de uniões de componentes de plástico injetado. A mesma encontra-se representada por etapas, para facilitar o processo de adoção pela equipe de um projeto.

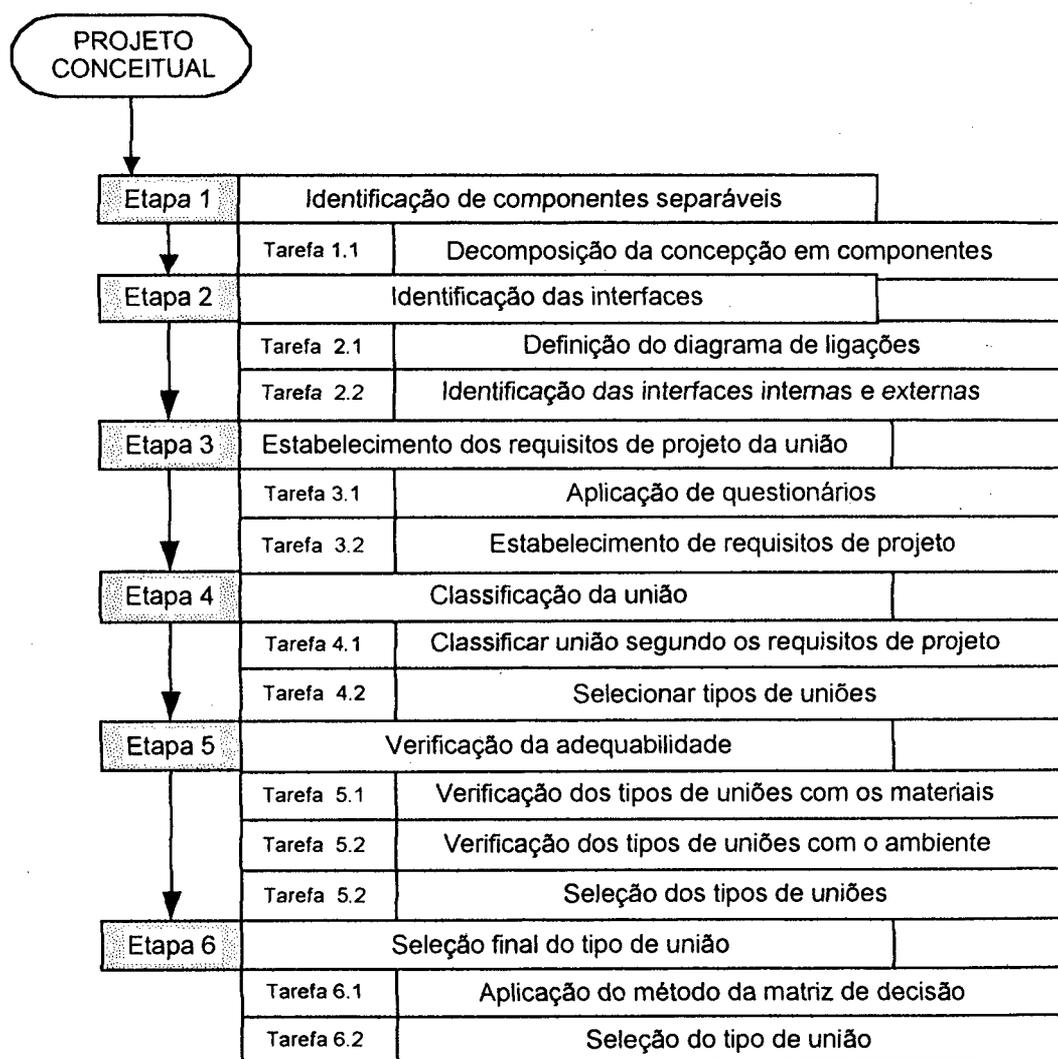


Figura 5.1 - Etapas para o processo de sistematização da seleção de princípios de uniões de componentes de plástico injetado.

Inicialmente todos os princípios ou tipos de uniões são considerados pela sistemática. À medida que as etapas são aplicadas, vários tipos de uniões são eliminados do processo, restando, ao final, somente alguns tipos de uniões.

A seguir são descritas as etapas para a seleção de princípios de uniões de componentes de plástico injetado.

### **5.2.1 - Etapas do processo de sistematização**

São as seguintes as etapas para a seleção de princípios de uniões de componentes de plástico injetado:

#### **Etapa 1: Identificação de componentes separáveis.**

Na fase do projeto conceitual, obtém-se alternativas de solução para os problemas. Através da utilização de ferramentas de projeto, entre elas a matriz morfológica, desencadeia-se a busca de princípios de solução alternativos para cada função parcial do produto, incluindo formas ou princípios para resolver aquela função, de forma independente, sem a preocupação com as demais funções. Uma vez construída a matriz morfológica, busca-se o estabelecimento de concepções alternativas para equacionar o problema global formulado. Os princípios de solução alternativos para cada função parcial/elementar do produto constituem-se, na realidade, nas formas dos componentes unitários ou então subconjuntos que constituirão o produto. Após a definição dos princípios de concepção de projeto para o produto, as concepções são avaliadas e a melhor alternativa é selecionada utilizando-se as matrizes de decisão multi-critério. Na seqüência inicia-se a fase de estabelecimento do projeto preliminar do produto, onde o projeto dos componentes é executado e progressivamente refinado.

A concepção escolhida ao final do projeto conceitual provavelmente contém representações dos componentes individuais. Nesta etapa da sistemática ocorre a decomposição das formas da concepção em componentes separáveis, identificando-se todos os componentes constituintes do produto. As formas dos componentes são representadas mediante o desenho das vistas ortográficas. Previamente à decomposição das formas da concepção em componentes separáveis, são estabelecidas as restrições espaciais sobre o produto. Estas restrições estabelecem os limites para as formas que podem ser desenvolvidas. As restrições sobre as montagens e os componentes tornam-se mais refinadas à medida que o produto evolui. Assim, por exemplo, caso dois componentes em um produto necessitem serem fixados juntos, decisões de projeto sobre um componente atuam como restrições sobre o outro.

As restrições espaciais são a base para os desenhos do leiaute, cujo principal propósito é delimitar as dimensões desenvolvidas no produto total. Uma boa abordagem é começar o desenho do leiaute com as restrições espaciais externas conhecidas, aquelas nas interfaces com os corpos externos ao objeto que está sendo desenhado. Isto definirá o envelope no qual a forma pode evoluir.

## **Etapa 2: Identificação das interfaces.**

Com base na decomposição das formas da concepção em componentes separáveis, realizada na etapa anterior, são identificadas todas as interfaces a serem projetadas. Como referido anteriormente, as interfaces podem ser internas e externas. Interface externa é aquela existente entre um componente e o meio externo ao produto. Interface interna é aquela existente entre dois componentes adjacentes de um produto, ou entre duas superfícies de contato de um mesmo componente. A identificação das interfaces é feita nos desenhos das vistas ortográficas dos componentes.

Nas interfaces são criadas e desenvolvidas as uniões ou estruturas de conexão de componentes. Conforme mencionado anteriormente, para os componentes de plástico injetado, as uniões podem ser obtidas principalmente por meio de parafusos, rebites, engates integrais, dobradiças, interferência, insertos rosqueados, processos de soldagem, adesivos e solventes.

Com o objetivo de facilitar a identificação das interfaces, pode-se utilizar um diagrama de ligações, conforme representado na Figura 5.2. Neste diagrama, os componentes do produto e o meio externo são representados por blocos ou retângulos, os quais são interligados por meio de linhas. As linhas representam as interfaces existentes entre os componentes ou entre os componentes e o meio externo.

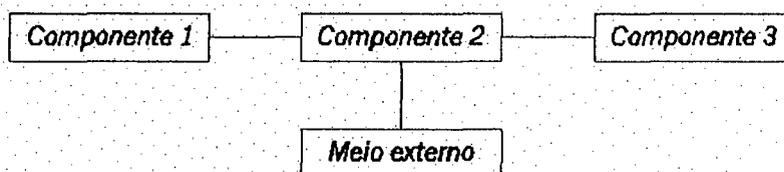


Figura 5.2 - Diagrama de ligações para a identificação das interfaces.

Após a aplicação do diagrama de ligações para a identificação das interfaces existentes, procede-se a uma análise da interação dos componentes do produto nas interfaces. À medida que

as interfaces são refinadas, novos componentes e montagens podem surgir, assim como podem também ser eliminados ou simplificados.

### **Etapa 3: Estabelecimento dos requisitos de projeto da união.**

Segundo MALLOY (1994), a seleção do princípio de união para unir componentes de plástico injetado compreende a análise de requisitos e aspectos de fabricação, estéticos, ambientais, estruturais, custos, materiais e funcionalidade. O levantamento desses requisitos é efetuado para caracterizar detalhadamente a união. Assim, é possível selecionar um ou mais princípios de uniões que atendam aos requisitos de projeto. Esta etapa consiste na base de todo o processo de seleção, sendo portanto a etapa mais relevante da sistemática proposta.

O estabelecimento dos requisitos de projeto da união deve ser realizado com bastante cuidado, pois caso estes sejam mal definidos, fatalmente resultará numa incorreta seleção do tipo de união, o que poderá comprometer o produto final. Outra consequência de um levantamento equivocado ou errôneo dos requisitos de projeto da união será o atraso no projeto do produto, pois será necessário estabelecer novamente os requisitos de projeto da união.

Os requisitos de projeto exercem influência direta na seleção do princípio de união. Requisitos estéticos são de suma importância em aplicações que requerem estética refinada, evitando-se nesses casos o uso de parafusos em locais visíveis.

Requisitos ambientais e estruturais influenciam também na seleção do princípio de união. Por exemplo, a utilização de fixadores mecânicos ou soldagem de um particular produto termoplástico pode ser preferida em relação à colagem por adesivos se o produto estiver exposto em ambientes sujeitos à altas temperaturas e altas umidades. Há também uma variedade de requisitos estruturais associados com a montagem do produto. Dentre esses requisitos incluem-se o desempenho do sistema de fixação sob carregamento de impacto, sob carregamento dinâmico (cargas de fadiga), sob carregamento estático, e sob os efeitos de tensões residuais ou termicamente induzidas.

Um dos fatores mais importantes a serem considerados para a seleção do princípio ou tipo de união é a funcionalidade, ou a facilidade de unir ou desunir os componentes. A facilidade de desmontagem é muitas vezes necessária para reparo ou manutenção do produto, e para fins de reciclagem. Colagem por adesivo e os processos de soldagem são geralmente considerados como irreversíveis, enquanto os engates integrais, uniões por interferência e as uniões obtidas por meio de fixadores mecânicos facilitam os procedimentos de desmontagem. Por exemplo, parafusos

autoatarraxantes podem ser usados em aplicações que exigem raras desmontagens para reparo, enquanto parafusos mais duráveis e insertos metálicos são empregados quando são exigidas freqüentes desmontagens, por exemplo em manutenção de máquinas fotocopiadoras.

Os materiais constituintes dos componentes a serem unidos requerem uma atenção muito especial. O polietileno, por exemplo, é ideal para ajustes por interferência e montagens por engate rápido devido a sua ductilidade. Entretanto, a resistência química superior e baixa energia superficial restringem o uso de adesivos associados a este material. As técnicas de soldagem são apropriadas para termoplásticos, mas não para os termofixos. O coeficiente de expansão térmica é também uma importante propriedade dos materiais, especialmente quando componentes constituídos de materiais diferentes são conectados, ou quando o processo de montagem envolve a adição de um terceiro material, tal como no caso de colagem por adesivo ou fixação por parafuso.

Para o estabelecimento dos requisitos de projeto da união de componentes, recomenda-se atentar para os itens especificados na Tabela 5.1. As respostas obtidas possibilitam definir uma listagem de requisitos para o projeto da união de componentes de plástico injetado.

Tabela 5.1 - Questionário para estabelecimento dos requisitos de projeto da união de componentes de plástico injetado.

<b>Questionário</b>	
<b>Requisitos funcionais:</b>	
1.	A união deverá permitir desmontagens e remontagens ?
2.	Serão exigidas freqüentes desmontagens e remontagens da união ?
3.	Será requerida facilidade de desmontagem ?
4.	Será permitido acesso para montagem/desmontagem em ambos os lados da união ?
5.	Os componentes a serem unidos deverão apresentar movimento relativo entre si ?
<b>Requisitos ambientais:</b>	
6.	Será requerida estanqueidade da união a fluidos diversos ?
7.	Quais serão os limites de temperatura a que o produto deverá suportar ?
8.	A união estará exposta a ambientes úmidos ?
9.	A união estará exposta a que tipos de substâncias químicas ?
<b>Requisitos estéticos:</b>	
10.	Será requerido um bom aspecto estético da união ?

Tabela 5.1 - Continuação.

<b>Requisitos materiais:</b>	
<b>11.</b>	Quais serão os materiais dos componentes da união ?
<b>Requisitos estruturais:</b>	
<b>12.</b>	Quais serão os tipos de solicitações ou carregamentos mecânicos atuantes ?

#### **Etapa 4: Classificação da união.**

Nesta etapa, os requisitos de projeto são considerados para fins de classificar a união quanto às características de reversibilidade, mobilidade, estanqueidade e acessibilidade.

Quanto à reversibilidade, a união pode ser classificada em reversível ou permanente, dependendo da possibilidade de permitir desmontagens e remontagens. Assim, se a reversibilidade da união for um requisito de projeto, com o intuito de possibilitar manutenção, reparo ou substituição de componentes avariados do produto, deve-se classificar a união como reversível. Caso a união não requeira desmontagem, esta será classificada como permanente.

No caso da união ser classificada como reversível, deve-se considerar o grau de restrição com relação da reversibilidade quanto à desmontagem. Caso a união requeira freqüentes desmontagens e remontagens dos componentes com o intuito de possibilitar manutenção, reparo ou substituição de componentes avariados do produto, sem que ocorra danificação ou estrago dos componentes da junta e/ou do elemento de fixação, deve-se classificar a união como reversível sem restrição de desmontagem. A união também será classificada como reversível sem restrição caso requeira raras desmontagens e remontagens dos componentes. Caso a união requeira raras desmontagens e remontagens dos componentes de modo a prevenir danificação ou deterioração dos mesmos (por exemplo, em uniões de componentes pintados) e/ou do elemento de fixação, deve-se classificar a união como reversível com restrição.

A união também pode ser classificada quanto à mobilidade em móvel ou estática. Por exemplo, caso houver a necessidade de movimento relativo entre os componentes da referida união, classifica-se a mesma como móvel.

Em relação à estanqueidade, a união pode ser classificada como vedante ou não-vedante. Se a estanqueidade da união a fluidos diversos for um requisito de projeto, deve-se classificar a união como vedante, adotando-se a alternativa não-vedante quando a união não requerer estanqueidade ou vedação.

A união também pode ser classificada quanto à acessibilidade em unilateral ou bilateral. A união será classificada como unilateral quando permitir acesso para montagem e/ou desmontagem em somente um dos lados da junta. Se a união permitir acesso para montagem e/ou desmontagem em ambos os dois lados, será classificada como bilateral.

Após o processo de classificação da união, deve-se selecionar os princípios de uniões que possuem as características definidas na classificação, conforme especificado na Tabela 5.2. Esta apresenta a classificação dos princípios de uniões com relação a cada um dos quatro critérios de classificação.

#### **Etapa 5: Verificação da adequabilidade dos princípios de uniões com materiais e ambiente de trabalho do produto.**

Nesta etapa verifica-se a adequabilidade dos princípios ou tipos de uniões com os materiais constituintes dos componentes a serem unidos e com as condições ambientais atuantes sobre o produto.

Nesta fase consideram-se os princípios de uniões definidos na etapa anterior, sendo altamente seletiva. Serão selecionados somente os princípios de uniões compatíveis com os materiais a serem unidos, e que resistam ou suportem as condições ambientais de trabalho do produto, sem que ocorram danificações ou deteriorações na união em questão.

Alguns exemplos clássicos podem ser oferecidos a título de orientação preliminar. Segundo BRASCOLA (1999), adesivos à base de cianoacrilato, por exemplo, não aderem em polietileno, polipropileno, silicone e teflon. Por outro lado, parafusos autoatarraxantes formadores de rosca devem ser utilizados para materiais plásticos mais dúcteis ou macios e com um módulo de elasticidade compreendido entre 1400 a 2800 MPa, exceto para alguns acetais e náilon 6/12. Processos de soldagem não devem ser aplicados para unir materiais termofixos, pois estes não fundem e degradam quando reaquecidos.

Informações a respeito da compatibilidade dos princípios de uniões com os materiais dos componentes, encontram-se disponibilizadas no Capítulo 4, incluindo a descrição e a caracterização dos principais princípios de uniões de componentes de plástico injetado.

Informações adicionais relevantes também podem ser obtidas em ROTHEISER (1999), com indicações quanto aos princípios de uniões que podem ser utilizados, para cada tipo de material plástico.

Tabela 5.2 - Classificação dos princípios de uniões de componentes de plástico injetado.

Princípios de uniões	Classificação dos princípios de uniões de componentes de plástico injetado									
	Reversível	Reversível sem restrição	Reversível com restrição	Permanente	Móvel	Estática	Vedante	Não-vedante	Unilateral	Bilateral
Dobradiças	integradas	•			•		•	•	•	
	pino	•	•			•		•	•	
	de encaixe rápido	•	•			•		•	•	
	esfera e embocadura	•	•			•		•	•	
	de 3 componentes	•	•			•		•	•	
Uniões por interferência	•	•				•	•			
Engates integrais	anulares	•	•		•			•	•	•
	viga e gancho	•	•		•			•	•	•
	esfera e embocadura	•	•		•			•	•	•
Parafusos	passantes	•	•					•		•
	simples	•						•		
	autoatarraxantes	•		•				•	•	•
		cortadores de rosca	•		•				•	•
	prisioneiros	formadores de rosca	•		•				•	•
		•						•	•	
Rebites	tubulares	pequenos			•			•		•
		de compressão			•			•		•
		bifurcados				•			•	



As condições ambientais relativas ao ambiente de trabalho de determinado produto podem ser associadas à umidade, temperatura, oxidação, presença de agentes químicos corrosivos, entre outras.

Várias condições podem auxiliar no entendimento do problema da adequabilidade dos princípios de uniões em relação ao ambiente de trabalho do produto. Certas colagens por adesivos, por exemplo, não são recomendadas para aplicações expostas continuamente à ação da água. Adesivos anaeróbicos apresentam boa resistência a solventes e parafusos de plástico, são apropriados para aplicações expostas à alta umidade e ambientes corrosivos.

Maiores informações a respeito da compatibilidade dos princípios de uniões com as condições ambientais encontram-se disponibilizadas no Capítulo 4, onde são descritos e caracterizados os principais princípios de uniões de componentes de plástico injetado.

#### **Etapa 6: Seleção final do princípio de união de componentes de plástico injetado.**

Para a seleção final do princípio ou tipo de união de componentes de plástico injetado, será utilizado o Método da Matriz Decisão de PUGH (1991). Nesta etapa, os tipos de uniões provenientes da etapa anterior são comparados através da aplicação desse método de seleção.

O método da matriz decisão é utilizado para comparar os diferentes princípios de uniões, empregando-se para tanto alguns critérios de comparação. A essência do método é apresentada na Figura 5.3 e possibilita quantificar o grau de ajustamento de cada princípio de união em relação a critérios de comparação previamente estabelecidos. A comparação dos escores obtidos para os diversos princípios de uniões servirá para indicar os melhores princípios e fornecer boas informações para a tomada de decisão.

<b>Critérios de Comparação</b>	<b>Pesos</b>	<b>Princípios de Uniões</b>
• Critério <sub>1</sub>	Peso <sub>1</sub>	Escore <sub>1</sub>
• Critério <sub>2</sub> ...	Peso <sub>2</sub>	Escore <sub>2</sub>
• Critério <sub>n</sub>	Peso <sub>n</sub>	Escore <sub>n</sub>
<b>Escore Final</b>		<b>Total</b>

Fig. 5.3 - Matriz decisão de PUGH (1991).

A aplicação do método da matriz decisão compreende três fases:

### Fase 1: Escolha dos critérios.

Os critérios de comparação a serem utilizados são os requisitos de projeto da união, previamente definidos na etapa 3 da sistemática.

### Fase 2: Comparação das alternativas.

Nesta fase adota-se um princípio de união como referência e todas as outras alternativas deverão ser comparadas com esta última, com relação aos requisitos de projeto da união. O princípio de união adotado como referência deverá ser aquele que o projetista entende como sendo a melhor das alternativas.

Para cada comparação com relação aos requisitos de projeto da união, o princípio de união sendo avaliado é julgado como melhor que, mesmo que ou pior que a referência. Os escores possíveis são representados na Tabela 5.3.

Tabela 5.3 - Geração do escore para a seleção final da união.

Julgamento da alternativa	Escore
Melhor	“ + ”
Equivalente	“ M ”
Pior	“ - ”

Fonte: PUGH (1991).

### Fase 3: Cálculo do escore total.

Após um princípio de união ser comparado com a referência em cada requisito de projeto, quatro escores podem ser obtidos: nº de escores “+”, nº de escores “-”, o total global e o peso total. O total global corresponde à diferença entre o número de escores “+” e o número de escores “-”. O peso total representa a soma de cada escore multiplicado pelo peso de importância de cada requisito. O escore “M” corresponde à nota zero; o escore “+” equivale a 1; o escore “-” corresponde a -1. Para cada um dos requisitos, deve ser atribuído um peso de importância, conforme a Tabela 5.4.

Tabela 5.4 - Pesos de importância para os requisitos.

<b>Peso</b>	<b>Significado do peso de importância</b>
5	Requisito muito importante
4	Requisito importante
3	Requisito razoavelmente importante
2	Requisito pouco importante
1	Requisito de mínima importância

Os escores não devem ser tratados como medidas absolutas do valor das alternativas, e sim como uma orientação. Para melhor compreensão do problema, recomenda-se refazer as comparações utilizando o princípio de união com o mais alto escore, como sendo a nova referência. Este procedimento deverá ser feito até que claramente transpareça o melhor princípio de união. É importante ressaltar que este método também permite outra possibilidade de escala para os escores, dependendo das informações disponíveis. Consiste de um sistema mais refinado, onde pode-se tratar melhor o “quanto” melhor ou pior um critério é atendido. Este sistema é exemplificado na Tabela 5.5.

Tabela 5.5 - Escala refinada para a comparação das alternativas (PUGH, 1991).

<b>Escore</b>	<b>Significado do escore</b>
+3	Critério é atendido de modo imensamente superior à referência
+2	Critério é atendido muito melhor que a referência
+1	Critério é atendido melhor que a referência
0	Critério é atendido tão bem quanto a referência
-1	Critério não é atendido tão bem quanto a referência
-2	Critério é atendido muito pior que a referência
-3	Critério é atendido imensamente pior que a referência

### 5.3 - Considerações finais

Neste capítulo foi apresentada uma proposta de sistemática para a seleção de princípios de uniões de componentes de plástico injetado. Esta sistemática encontra-se representada por etapas, para facilitar o processo de adoção pela equipe de um projeto.

Inicialmente, todos os princípios de uniões são considerados no processo de sistematização. À medida que as etapas são executadas, vários princípios de uniões são eliminados do processo, restando, na etapa final, somente alguns princípios de uniões.

No CAPÍTULO 6, será apresentado um estudo de caso, onde a sistemática desenvolvida para a seleção de princípios de uniões de componentes de plástico injetado é utilizada. Esta é empregada para selecionar os princípios de uniões para um engate sela, o qual destina-se à aplicação em sistemas portáteis de irrigação por aspersão convencional. Constitui-se na aplicação prática dos resultados da presente dissertação, com o propósito de avaliar as potencialidades da sistemática proposta.

## **CAPÍTULO 6 - APLICAÇÃO DA SISTEMÁTICA PROPOSTA**

### **6.1 - Introdução**

Neste capítulo é apresentado um exemplo da aplicação da sistemática proposta, na seleção dos princípios de uniões para um engate sela, o qual destina-se à aplicação em sistemas portáteis de irrigação por aspersão convencional. Objetiva-se com o presente capítulo, a avaliação e validação da sistemática proposta.

Primeiramente, procede-se a uma breve descrição do método de irrigação por aspersão convencional. Na sequência, é realizada a descrição e caracterização do engate sela. E por último, a sistemática proposta é finalmente aplicada.

### **6.2 - Irrigação por aspersão**

Conforme GOMES (1997), a irrigação por aspersão é um método de aplicação de água às plantas em forma de chuva artificial, por meio de dispositivos especiais, abastecidos com água sob pressão. Estes dispositivos especiais, denominados aspersores, têm a função de pulverizar os jatos d'água, que saem das tubulações, e devem assegurar uma distribuição adequada da precipitação que cai sobre a superfície do terreno cultivado.

A irrigação por aspersão começou a se desenvolver na metade do século XX, com o advento das tubulações metálicas leves, que deram origem aos primeiros sistemas portáteis. Posteriormente, para diminuir a exigência de mão-de-obra, foram surgindo os sistemas fixos ou permanentes, que empregam maior quantidade de tubulações e aspersores. A partir dos anos sessenta começaram a aparecer diferentes sistemas de aspersão mecanizados e hoje em dia se utiliza também o recurso da automação, para controlar algumas aplicações especiais da irrigação.

Atualmente a irrigação por aspersão se constitui num dos métodos mais utilizados no mundo. Destaca-se entre os demais por sua versatilidade, facilidade de manejo e por sua possibilidade de aplicação a quase todo tipo de cultura, solo e topografia do terreno. Suas instalações são bastante variáveis e compreendem desde os sistemas portáteis convencionais, que habitualmente irrigam áreas de poucos hectares, até os sistemas mecanizados com funcionamento automático, frequentemente utilizados para irrigar superfícies de dezenas de hectares.

O transporte da água sob pressão, desde o ponto de abastecimento até os aspersores, se realiza sempre através de uma rede ramificada de tubos. Nos sistemas portáteis de irrigação por aspersão convencional, os tubos são axialmente unidos entre si por meio de engates especiais, dentre os quais destaca-se o engate sela. Tais engates devem permitir a fácil desmontagem e remontagem dos tubos, para que toda a área a ser irrigada seja abrangida.

Conforme GOMES (1997), engates do tipo sela são muito utilizados em pequenas e médias propriedades rurais, sendo geralmente adotado por hortiprodutores, devido à facilidade de montagem/desmontagem e mudança de local do sistema. Estes produtores, em sua maioria, não têm recursos financeiros para comprar um sistema para toda a área irrigada. Este tipo de engate também é utilizado na irrigação de café, campos de futebol, jardins, capineiras, milho, piquetes de gado e etc. Normalmente as áreas a serem irrigadas são inferiores a 3 hectares.

O engate sela exerce papel fundamental no desempenho da função dos sistemas portáteis de irrigação. Além de manter os tubos axialmente unidos, deve permitir que estes sejam facilmente desmontados e remontados, quantas vezes forem necessárias de modo a abranger toda a área a ser irrigada. Deve apresentar também boa resistência mecânica bem como vida longa em serviço.

### 6.3 - Engate sela

Um exemplo de engate sela e seus componentes está representado na Figura 6.1.

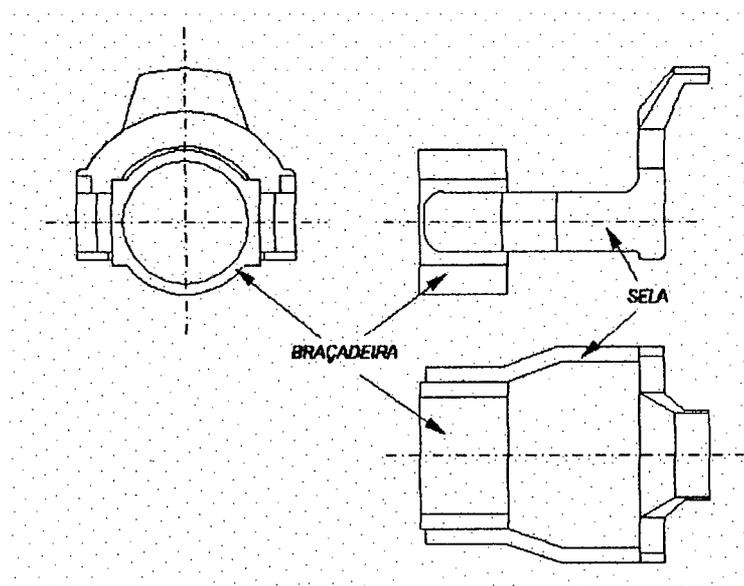


Figura 6.1 - Engate sela.

É constituído por dois componentes: a sela propriamente dita e a braçadeira. A sela é unida a braçadeira em dois pontos de articulação, apresentando, portanto, movimento relativo. O engate sela é fixado externamente sobre a ponta do tubo pela braçadeira. Existem dois tipos de engate sela disponíveis no mercado: engate sela de material plástico e engate sela metálico.

A representação dos tubos antes e após a montagem é feita respectivamente nas Figuras 6.2a e 6.2b.

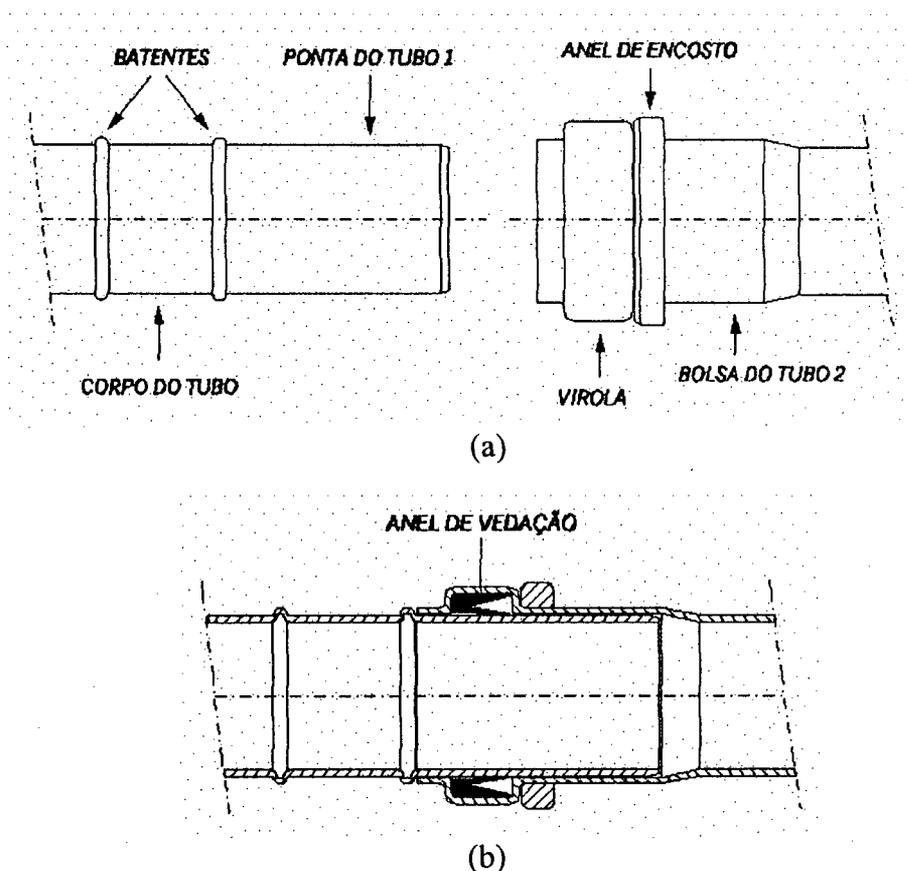


Figura 6.2 - Tubos a serem unidos: (a) antes da montagem; (b) após a montagem.

Os tubos são constituídos por três regiões distintas: ponta, corpo e bolsa. A ponta do tubo 1 é inserida na bolsa do tubo 2. A bolsa do tubo 2 apresenta uma virola, dentro da qual é posicionado um anel de vedação, conforme mostrado na vista em corte da Figura 6.2b. O anel de vedação, serve para vedar as superfícies de contato entre a ponta do tubo 1 e a bolsa do tubo 2. O anel de encosto é mostrado na Figura 6.2a, o qual não é parte integrante do tubo 2. Como o próprio nome diz, serve como elemento de apoio para a sela durante e após a montagem. Os batentes, os quais são partes integrantes dos tubos, servem para posicionar a braçadeira sobre a ponta do tubo 1. As posições com o engate desmontado e montado são mostradas na Figura 6.3.

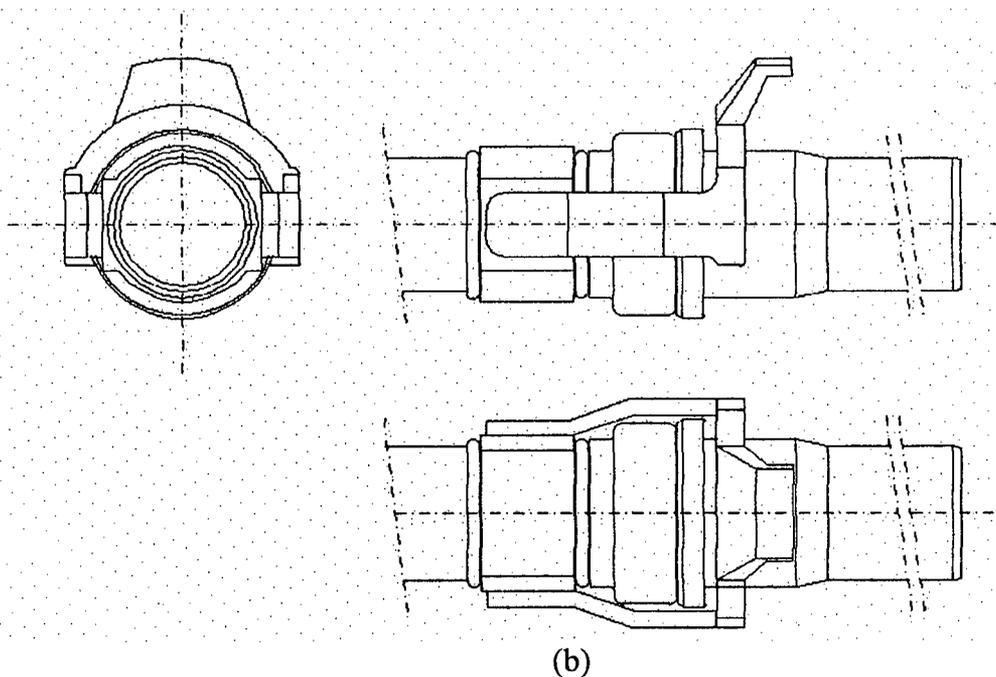
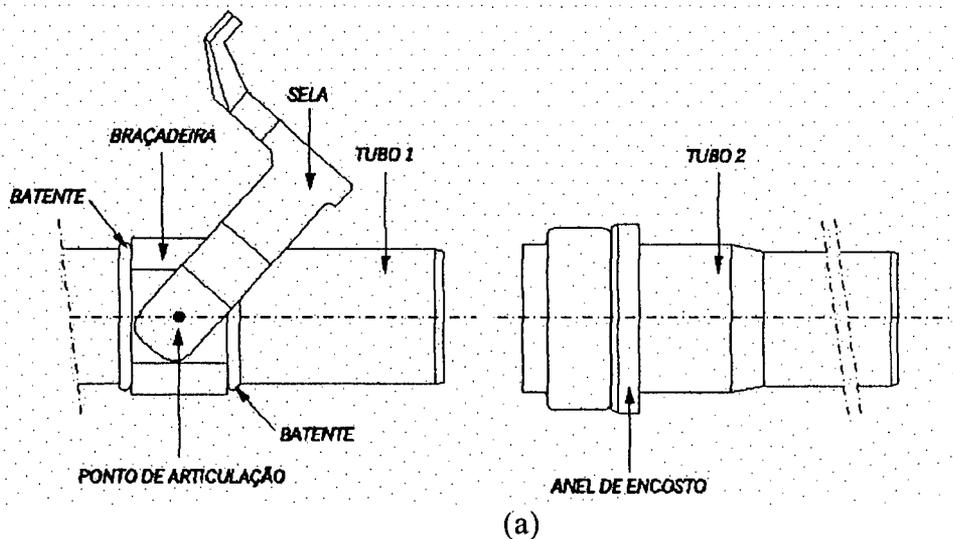


Figura 6.3 - Montagem do conjunto: (a) posição desengatada; (b) posição engatada.

Previamente à montagem do conjunto, a braçadeira do engate sela é colocada sobre a ponta do tubo 1 de modo a ficar posicionada entre dois batentes. Para montar o engate, insere-se a ponta do tubo 1 na bolsa do tubo adjacente (tubo 2). Na sequência, gira-se a sela até que esta fique encostada tanto no anel de encosto quanto no tubo 2. Para possibilitar a desmontagem dos tubos, é necessário apenas girar a sela no sentido contrário (a tubulação também precisa estar despressurizada).

## 6.4 - Aplicação da sistemática

A sistemática proposta no capítulo anterior será aplicada para a seleção dos princípios de uniões dos componentes de um engate sela.

Os componentes constituintes do engate sela (sela e braçadeira) são moldados em separado, efetuando-se posteriormente a união destes. Conforme será visto em detalhes, a princípio existem duas interfaces entre a sela e a braçadeira. Para conectar tais interfaces, serão selecionados os princípios de uniões mais adequados, mediante a utilização da sistemática proposta nesta dissertação.

Conforme apresentado no Capítulo 5, a sistematização da seleção do princípio de união de componentes de plástico injetado é realizada em seis etapas sequenciais, as quais serão aplicadas a seguir.

### Etapa 1: Identificação de componentes separáveis.

A concepção de engate sela escolhida ao final da etapa de projeto conceitual contém representações dos componentes individuais. Nesta fase ocorre a decomposição das formas da concepção do engate sela em componentes separáveis, identificando-se todos os componentes constituintes. A concepção de engate sela, como já citado anteriormente, é constituída por dois componentes de plástico injetado: a sela e a braçadeira, os quais estão representados respectivamente nas Figuras 6.4 e 6.5.

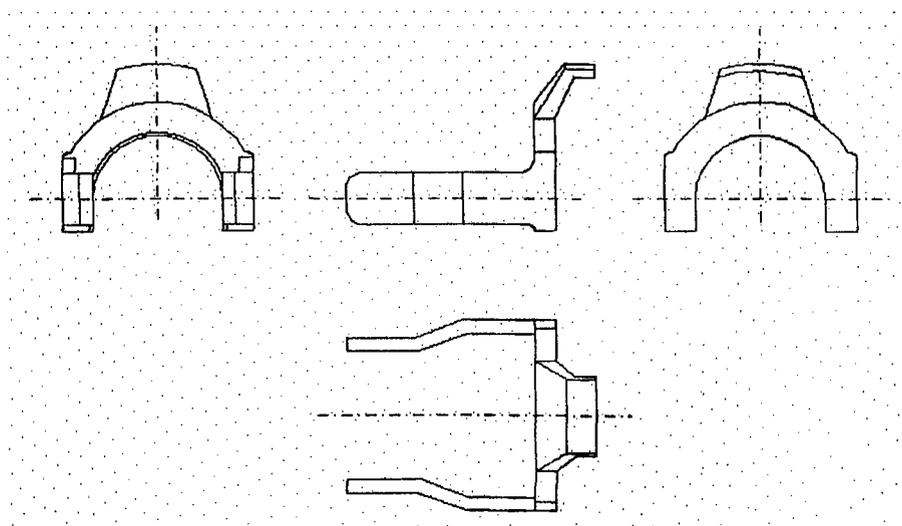


Figura 6.4 - Vistas da concepção da sela.

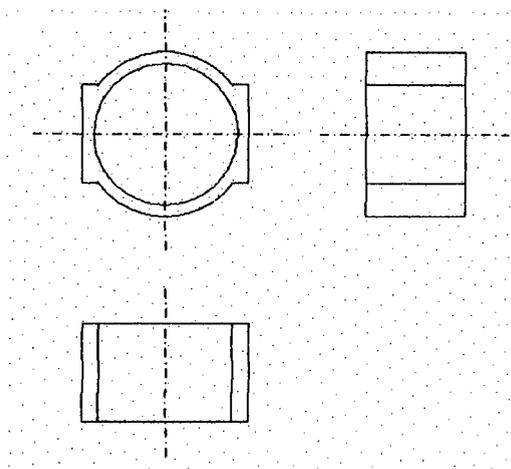


Figura 6.5 - Vistas da concepção da braçadeira.

## Etapa 2: Identificação das interfaces.

Com base na decomposição das formas da concepção do engate sela em componentes separáveis, realizada na etapa anterior, são identificadas todas as interfaces a serem projetadas.

Como referido anteriormente, as interfaces podem ser internas e externas. Interface externa é aquela existente entre um componente e o meio externo ao produto. Interface interna é aquela existente entre dois componentes adjacentes de um produto, ou entre duas superfícies de contato de um mesmo componente.

Para facilitar a identificação das interfaces, utiliza-se um diagrama de ligações, representado na Figura 6.6. Neste diagrama, os componentes do engate sela e o meio externo (usuário e tubos) estão representados por blocos ou retângulos, os quais são interligados por meio de linhas. As linhas representam as interfaces existentes entre os componentes do produto ou entre os componentes do produto e o meio externo.

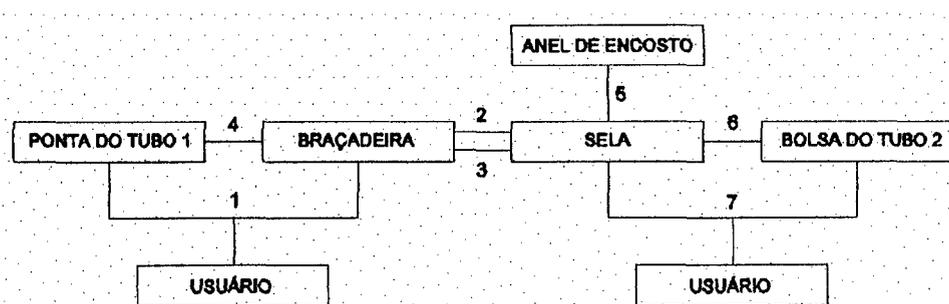


Figura 6.6 - Diagrama de ligações aplicado ao engate sela.

Conforme a Figura 6.6, existem sete interfaces para o engate sela, sendo duas interfaces internas e cinco interfaces externas.

As interfaces 2 e 3 existentes entre a braçadeira e a sela, são as interfaces internas. Estas interfaces estão representadas na Figura 6.7.

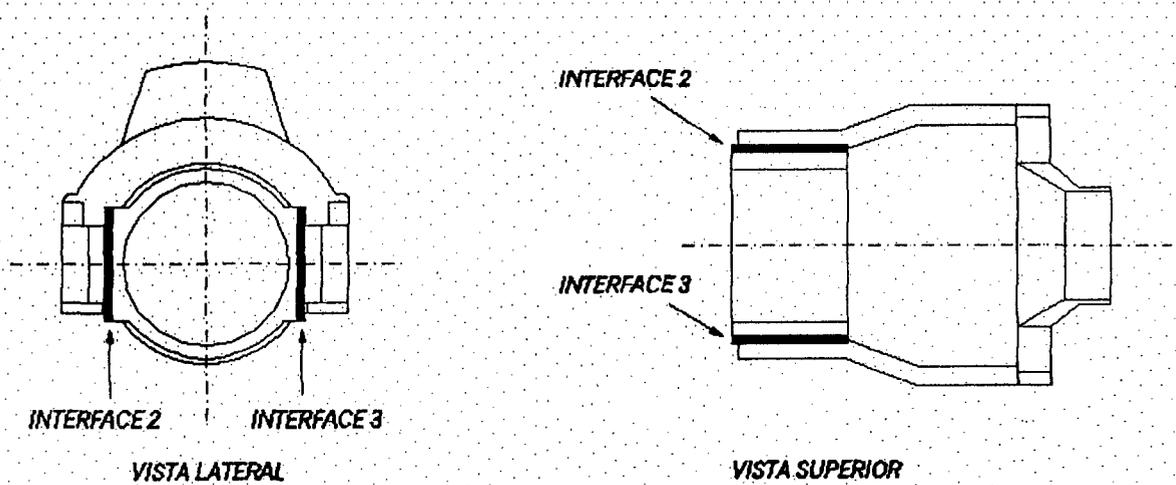


Figura 6.7 - Interfaces internas do engate sela.

Para o engate sela, somente as interfaces internas requerem conexões entre as superfícies de união dos componentes. As superfícies de união das interfaces 2 e 3 são mostradas respectivamente nas Figuras 6.8 e 6.9.

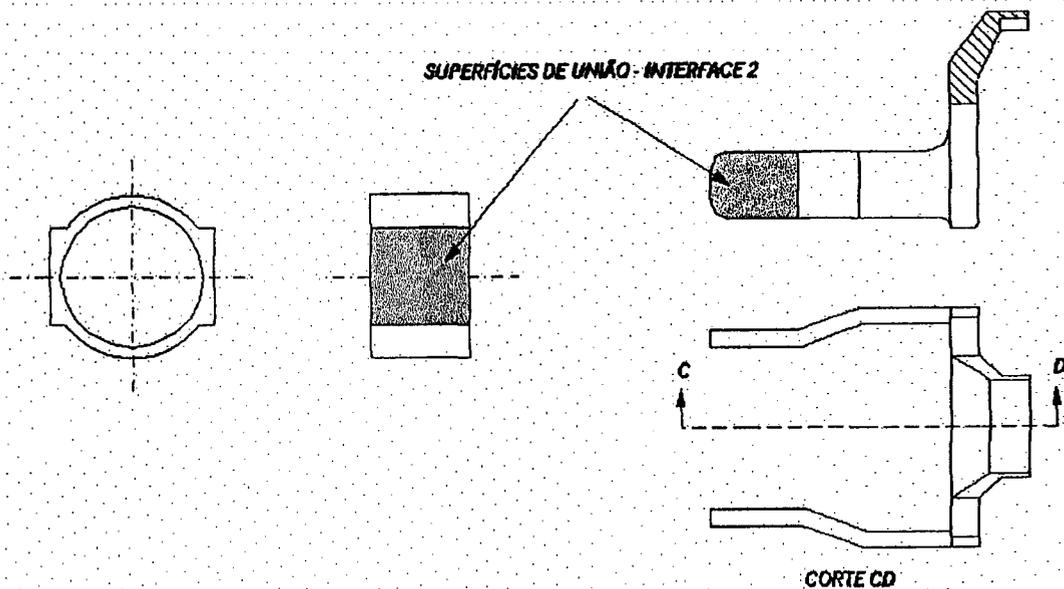


Figura 6.8 - Superfícies de união da interface 2.

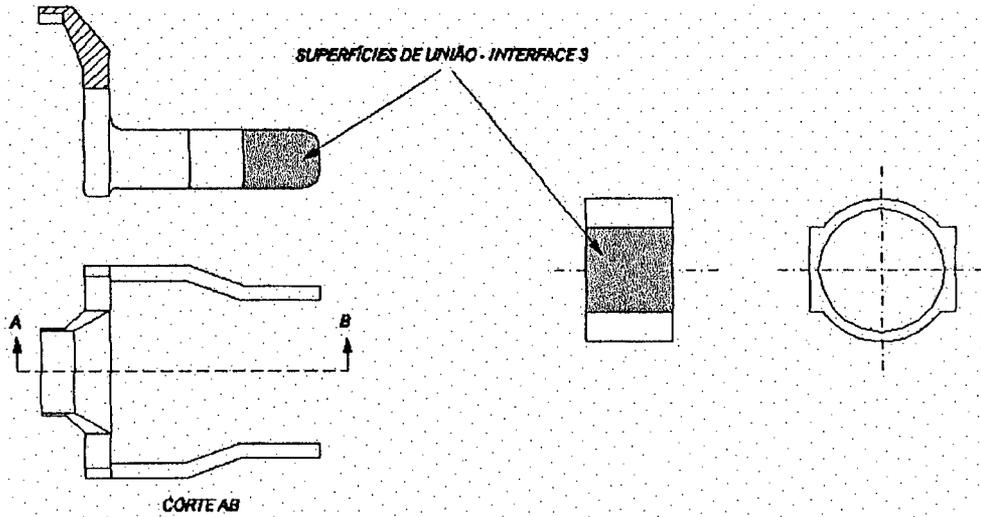


Figura 6.9 - Superfícies de união da interface 3.

As superfícies de união nas interfaces 2 e 3 caracterizam-se por apresentarem movimento relativo entre si. Em ambas as interfaces, a superfície de união da sela gira em relação à superfície de união da braçadeira, em consequência do movimento que a sela executa. O movimento relativo entre as superfícies de união de cada interface ocorre em torno de um ponto de articulação imaginário pertencente a um plano paralelo à linha de centro da braçadeira (Fig. 6.10).

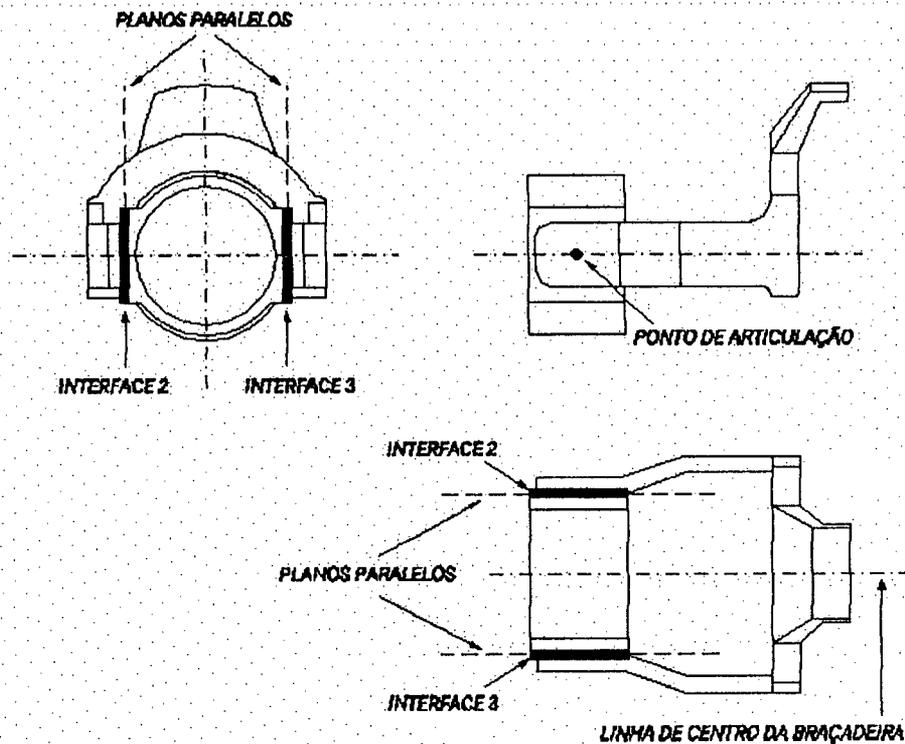


Figura 6.10 - Interação dos componentes do engate sela nas interfaces internas.

A interface 1 existe entre o usuário e o conjunto braçadeira + ponta do tubo 1. Esta interface ocorre pela necessidade de montagem da braçadeira sobre a ponta do tubo 1, previamente à união dos tubos.

A interface 5 ocorre entre a sela e o anel de encosto. Esta interface existirá quando os tubos estiverem unidos pelo engate sela e quando os tubos estiverem pressurizados; nessa situação, a sela estará em contato sobre o anel de encosto.

A interface 6 ocorre entre a sela e a bolsa do tubo 2. Esta interface existirá quando a sela estiver montada sobre a bolsa do tubo 2.

A interface 7 existe entre o usuário e o conjunto sela + bolsa do tubo 2. Esta interface ocorre pela necessidade de montagem da sela sobre a bolsa do tubo 2.

A interface 4 existe entre a braçadeira e a ponta do tubo 1, a qual está representada na Figura 6.11. Conforme mencionado anteriormente, previamente à união dos tubos, a braçadeira do engate sela é montada sobre a ponta do tubo 1 de modo a ficar estaticamente posicionada entre os dois batentes do tubo, formando assim a interface 4.

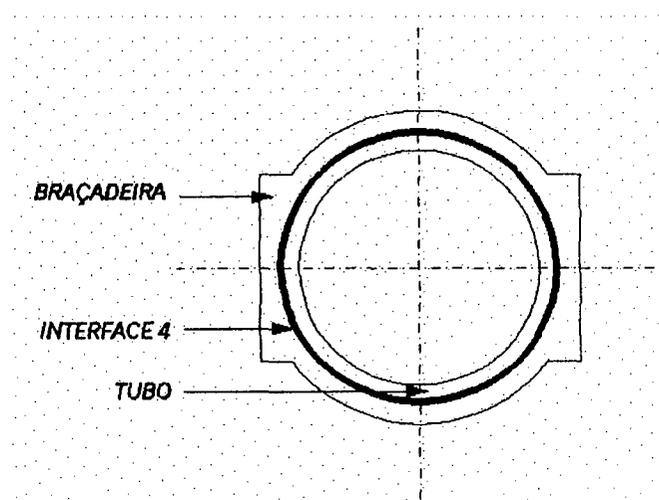


Figura 6.11 - Interface 4.

Para que a braçadeira fique estaticamente posicionada entre os dois batentes do tubo, o diâmetro interno da braçadeira deve ser menor do que diâmetro externo dos batentes. A concepção de braçadeira mostrada na Figura 6.11 não permite que esta seja instalada sobre a ponta do tubo de modo a ficar estaticamente posicionada entre os batentes. Isto ocorre porque a braçadeira é inteiriça; conseqüentemente ela não pode ser elasticamente deformada de modo que o seu diâmetro interno supere o diâmetro externo dos batentes. Assim, é necessário que a

concepção da braçadeira seja refinada. A solução para resolver tal problema consiste na adoção de uma braçadeira semi-partida, a qual é mostrada na Figura 6.12. Esta braçadeira apresenta duas pontas (pontas x e y), as quais podem ser afastadas de modo a permitir o encaixe da braçadeira entre os dois batentes do tubo 1.

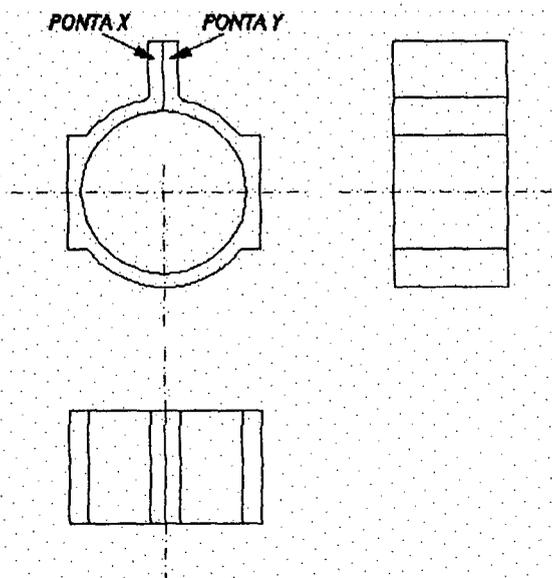


Figura 6.12 - Braçadeira semi-partida.

Com a adoção da braçadeira semi-partida surgiu uma nova interface interna, na própria braçadeira, a qual será denominada de interface 8. A interface 8 é mostrada na Figura 6.13. Para que exista a interface 4, é necessário implementar a interface 8.

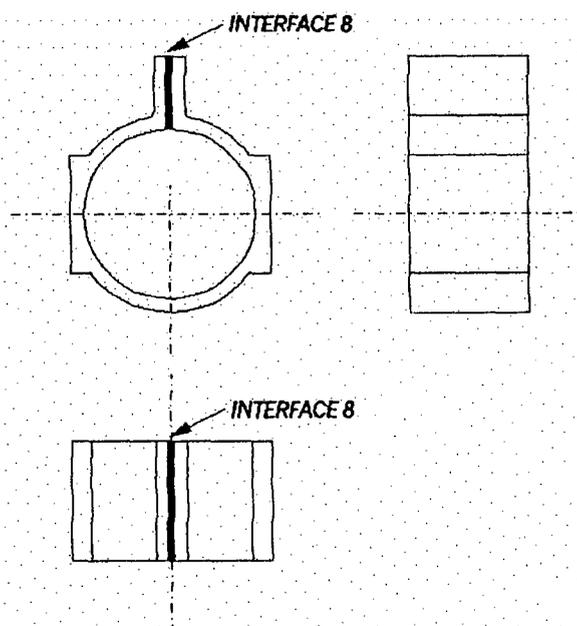


Figura 6.13 - Interface 8 na braçadeira semi-partida.

Para cada uma das interfaces internas, será selecionado o princípio de união mais adequado para conectar as superfícies de união.

### Etapa 3: Estabelecimento dos requisitos de projeto das uniões.

As uniões de componentes do engate sela serão criadas e desenvolvidas nas interfaces internas. Define-se as uniões como sendo:

- **União A:** união da sela com a braçadeira (interface 2);
- **União B:** união da sela com a braçadeira (interface 3);
- **União C:** união na própria braçadeira (interface 8).

Para o estabelecimento dos requisitos de projeto das uniões de componentes do engate sela, recomenda-se atentar para os itens especificados na Tabela 5.1 - questionário para estabelecimento dos requisitos de projeto da união de componentes de plástico injetado. As respostas obtidas possibilitam definir uma listagem de requisitos de projeto para essas uniões.

#### • Requisitos de projeto das uniões A e B

Devido ao fato das interfaces 2 e 3 serem idênticas, os requisitos de projeto das uniões A e B também serão idênticos. Tais requisitos estão listados na Tabela 6.1.

Tabela 6.1 - Requisitos de projeto das uniões A e B.

<b>Requisitos de projeto das uniões A e B</b>	
<b>Requisitos funcionais:</b>	
<b>1.</b>	A união não deverá permitir desmontagens e remontagens.
<b>2.</b>	Não será permitido acesso para montagem em ambos os lados da união.
<b>3.</b>	Os componentes a serem unidos deverão apresentar movimento relativo entre si.
<b>Requisitos ambientais:</b>	
<b>4.</b>	Não será requerida estanqueidade da união a fluidos diversos.
<b>5.</b>	O produto deverá suportar temperaturas de 0 a 60 <sup>0</sup> C.

Tabela 6.1 - Continuação.

6.	A união estará exposta à umidade.
7.	A união estará exposta à ação de fertilizantes e defensivos agrícolas.
<b>Requisitos estéticos:</b>	
8.	Não será requerido um bom aspecto estético da união.
<b>Requisitos materiais:</b>	
9.	O material constituinte dos componentes da união será o náilon.
<b>Requisitos estruturais:</b>	
10.	A união estará submetida a forças de cisalhamento.

- **Requisitos de projeto da união C**

Os requisitos de projeto da união C, a qual ocorre na própria braçadeira, estão listados na Tabela 6.2.

Tabela 6.2 - Requisitos de projeto da união C.

<b>Requisitos de projeto da união C</b>	
<b>Requisitos funcionais:</b>	
1.	A união deverá permitir desmontagens e remontagens.
2.	Não serão exigidas freqüentes desmontagens e remontagens da união.
3.	Será requerida facilidade de desmontagem.
4.	Será permitido acesso para montagem/desmontagem em ambos os lados da união.
5.	Os componentes a serem unidos não deverão apresentar movimento relativo entre si.
<b>Requisitos ambientais:</b>	
6.	Não será requerida estanqueidade da união a fluidos diversos.
7.	O produto deverá suportar temperaturas de 0 a 60 <sup>o</sup> C.
8.	A união estará exposta á umidade.
9.	A união estará exposta à ação de fertilizantes e defensivos agrícolas.
<b>Requisitos estéticos:</b>	
10.	Não será requerido um bom aspecto estético da união.
<b>Requisitos materiais:</b>	
11.	O material constituinte dos componentes da união será o náilon.

Tabela 6.2 - Continuação.

<b>Requisitos estruturais:</b>	
<b>12.</b>	A união estará submetida a forças de cisalhamento.

#### **Etapa 4: Classificação das uniões.**

Nesta etapa, os requisitos de projeto das uniões são considerados para fins de classificação das mesmas quanto a características de reversibilidade, mobilidade, estanqueidade e acessibilidade.

Após o processo de classificação da união, deve-se selecionar os princípios de uniões que correspondem à classificação adotada.

- **Classificação das uniões A e B**

As uniões A e B são classificadas quanto aos quatro critérios de classificação em permanentes, móveis, não-vedantes e unilaterais.

As uniões A e B são classificadas quanto à reversibilidade em permanentes, pois não requerem desmontagem para manutenção, reparo ou substituição dos componentes. Quanto à mobilidade dos componentes, são classificadas em móveis, pois é requerido movimento relativo entre os componentes da referida união. Em relação à estanqueidade, as uniões são classificadas em não-vedantes, porque não é requerida estanqueidade a fluídos diversos. E quanto à acessibilidade, as uniões A e B são classificadas em unilaterais, pois permitem acesso para montagem em somente um dos lados da união.

Após classificar as uniões, deve-se selecionar os princípios de uniões que correspondem integralmente à classificação adotada, conforme especificado na Tabela 5.2. Desse modo, os princípios de uniões selecionados para as uniões A e B foram os seguintes: engates integrais anulares e engates integrais esfera e embocadura.

- **Classificação da união C**

A união C é classificada quanto aos quatro critérios de classificação em reversível sem restrição, estática, não-vedante e bilateral.

A união C é classificada quanto à reversibilidade em reversível, pois requer desmontagens e remontagens para manutenção, reparo ou substituição de componentes avariados do produto. A união C também é classificada como reversível sem restrição pois requer raras desmontagens e remontagens dos componentes. Quanto à mobilidade dos componentes, a união é classificada em estática, porque não requer movimento relativo entre os componentes. Em relação à estanqueidade, a união é classificada como não-vedante, pois não requer estanqueidade a fluídos diversos. E quanto à acessibilidade, a união C é classificada como bilateral, porque permite acesso para montagem e/ou desmontagem em ambos os lados da união.

Após classificar a união, deve-se selecionar os princípios de uniões que correspondem integralmente à classificação adotada, conforme especificado na Tabela 5.2. Assim, os princípios de uniões selecionados para a união C foram os seguintes: engates integrais anulares; engates integrais viga e gancho; engates integrais esfera e embocadura e parafusos passantes.

#### **Etapa 5: Verificação da adequabilidade dos princípios de uniões com materiais e ambiente de trabalho do produto.**

Nesta etapa verifica-se a adequabilidade dos princípios de uniões com os materiais constituintes dos componentes a serem unidos e com as condições ambientais atuantes sobre o engate sela. Tanto a braçadeira como a sela são constituídos de náilon. Em relação às condições ambientais atuantes, o engate sela estará exposto à umidade, a temperaturas de 0 à 60<sup>o</sup>C, à radiação ultravioleta proveniente da luz solar, e à ação de fertilizantes e defensivos agrícolas.

Nesta fase consideram-se somente os princípios de uniões definidos na etapa anterior, sendo portanto, uma etapa seletiva. Serão selecionados os princípios de uniões compatíveis com os materiais a serem unidos, e que resistam ou suportem às condições ambientais de trabalho do produto, sem que ocorram danificações ou deteriorações nas uniões em questão.

- **Uniões A e B**

Para as uniões idênticas A e B, as quais são uniões da braçadeira com a sela, os engates integrais anulares e engates integrais esfera e embocadura são plenamente compatíveis com o material constituinte dos componentes a serem unidos, pois como o próprio nome diz, são integrados aos componentes, e portanto, constituídos pelo mesmo material (náilon). Os dois tipos

de uniões também são bastante adequados às condições ambientais atuantes sobre o engate sela, prevenindo desse modo a ocorrência de danificações ou deteriorações nas uniões em questão.

- **União C**

Para a união C, a qual é uma união na própria braçadeira, os quatro princípios de uniões selecionados na etapa anterior (engates integrais anulares, engates integrais viga e gancho, engates integrais esfera e embocadura, e parafusos passantes) são plenamente compatíveis com o material constituinte da braçadeira. Os quatro princípios de uniões também são bastante adequados às condições ambientais atuantes sobre o engate sela.

#### **Etapa 6: Seleção final dos princípios de uniões.**

Para a seleção final dos princípios ou tipos de uniões do engate sela, será utilizado o Método da Matriz Decisão de PUGH (1991). Através desse método, os diferentes princípios de uniões provenientes da etapa 5 são comparados entre si, utilizando-se para tanto os requisitos de projeto previamente definidos na etapa 3. O método da matriz de decisão possibilita quantificar o grau de ajustamento de cada princípio de união em relação aos critérios de comparação previamente estabelecidos, os quais são os requisitos de projeto. A comparação dos escores obtidos para os diversos princípios de uniões servirá para indicar os melhores tipos e fornecer boas informações para a tomada de decisão.

A título de esclarecimento, os pesos de importância dos requisitos de projeto das uniões foram definidos através de pesquisa de opinião aplicada a dez profissionais da indústria de transformação de plásticos (engenheiros e técnicos mecânicos).

- **Seleção final do princípio de união para as uniões A e B**

A aplicação do método da matriz decisão para as uniões A e B é mostrada na Tabela 6.3. O requisito *facilidade de montagem* foi adicionado à relação de critérios de comparação. Tal requisito não é decorrente da aplicação do questionário para o estabelecimento dos requisitos de projeto das uniões A e B. Neste questionário, não é cabível a pergunta “será requerida facilidade

de montagem?”, pois facilidade de montagem é um requisito inerente e imprescindível a toda e qualquer união de componentes.

Os princípios de uniões a serem comparados são os seguintes:

- (1) - Engate integral anular;
- (2) - Engate integral esfera e embocadura.

Tabela 6.3 - Aplicação da matriz decisão para as uniões A e B.

Critérios de comparação	Pesos	(1)	(2)
Facilidade de montagem	3	R	M
Não requer desmontagem	*	E	M
Acessibilidade somente um dos lados da união	*	F	M
Mobilidade entre componentes	*	E	M
Não-vedante	*	R	M
Resistência a temperaturas de 0 a 60 <sup>0</sup> C	4	Ê	M
Resistência à unidade	4	N	M
Resistência a fertilizantes e defensivos agrícolas	2	C	M
Resistência a forças de cisalhamento	5	I	-
Componentes de náilon	*	A	M
Agradabilidade estética	1		-
Total +		0	0
Total -		0	2
Total global		0	-2
<b>Peso total</b>		0	<b>-6</b>

A aplicação do método da matriz decisão mostra que o princípio de união mais adequado para consolidar as uniões A e B é o engate integral anular. Tal afirmação justifica-se devido ao escore favorável obtido por esse tipo de união em relação ao engate integral esfera e embocadura. Além disso, para o critério de maior peso de importância (*resistência a forças de cisalhamento*), o engate integral anular foi julgado como sendo melhor do que o engate integral esfera e embocadura. Assim, o tipo de união selecionado para as uniões A e B, as quais ocorrem nas interfaces entre a braçadeira e a sela (interfaces idênticas 2 e 3), é o **engate integral anular**.

Os requisitos que não puderam ser utilizados como critérios de comparação estão assinalados com o asterisco \*. Tais requisitos não foram utilizados porque não podem ser mensurados.

▪ **Seleção final do princípio de união para a união C**

A aplicação do método da matriz decisão para a união C é mostrada na Tabela 6.4. O requisito *facilidade de montagem* também foi adicionado à relação de critérios de comparação. Assim como nas uniões A e B, tal requisito não é decorrente da aplicação do questionário para o estabelecimento dos requisitos de projeto da união C. Neste questionário, não é cabível a pergunta “será requerida facilidade de montagem?”, pois facilidade de montagem é um requisito inerente e imprescindível a toda e qualquer união de componentes.

Os princípios ou tipos de uniões a serem comparados são os seguintes:

- (1) - Engate integral anular;
- (2) - Engate integral viga e gancho;
- (3) - Engate integral esfera e embocadura;
- (4) - Parafuso passante.

Tabela 6.4 - Aplicação da matriz decisão para a união C.

<b>Critérios de comparação</b>	<b>Pesos</b>	<b>(1)</b>	<b>(2)</b>	<b>(3)</b>	<b>(4)</b>
Facilidade de desmontagem/remontagem	3	+	+	+	<b>R</b>
Permite desmontagens e remontagens	*	M	M	M	<b>E</b>
Não requer freqüentes desmontagens e remontagens	*	M	M	M	<b>F</b>
Acessibilidade em ambos os lados da união	*	M	M	M	<b>E</b>
Ausência de movimento relativo	*	M	M	M	<b>R</b>
Não-vedante	*	M	M	M	<b>Ê</b>
Resistência a temperaturas de 0 a 60 <sup>0</sup> C	4	M	M	M	<b>N</b>
Resistência à umidade	4	M	M	M	<b>C</b>
Resistência a fertilizantes e defensivos agrícolas	2	M	M	M	<b>I</b>
Resistência a forças de cisalhamento	5	-	-	-	<b>A</b>
Componentes de náilon	*	M	M	M	
Agradabilidade estética	1	+	+	M	

Tabela 6.4 - Continuação.

Critérios de comparação	Pesos	(1)	(2)	(3)	(4)
Total +		2	2	1	0
Total -		1	1	1	0
Total global		+1	+1	0	0
Peso total		-1	-1	-2	0

A aplicação do método da matriz decisão mostra que o princípio de união mais adequado para consolidar a união C é o parafuso passante. Tal afirmação justifica-se devido ao escore favorável obtido por esse princípio de união em relação aos outros três princípios de uniões. Além disso, para o critério de maior peso de importância (*resistência a forças de cisalhamento*), o parafuso passante foi julgado como sendo melhor do que as demais alternativas. Assim, o princípio de união selecionado para a união C, a qual ocorre na própria braçadeira (interface 8), é o **parafuso passante**. Os requisitos que não puderam ser utilizados como critérios de comparação estão assinalados com o asterisco \*. Tais requisitos não foram utilizados porque não podem ser mensurados.

Os princípios de uniões selecionados estão representados na Figura 6.14.

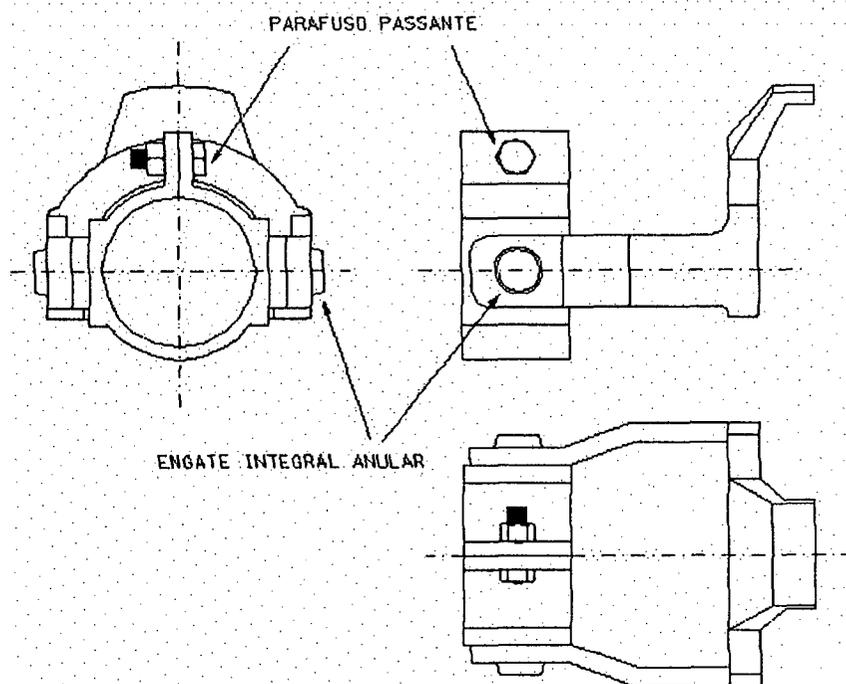


Figura 6.14 - Princípios de uniões selecionados para o engate sela.

## 6.5 - Considerações finais

Neste capítulo, apresentou-se um estudo de caso, onde a sistemática desenvolvida para a seleção de princípios de uniões de componentes de plástico injetado foi aplicada. Esta foi empregada para selecionar os princípios de uniões para um engate sela, o qual destina-se à aplicação em sistemas portáteis de irrigação por aspersão convencional.

O estudo de caso constituiu-se na aplicação prática dos resultados da presente dissertação, com o propósito de avaliar as potencialidades da sistemática proposta bem como para validar a mesma.

De um modo geral, o desenvolvimento deste estudo de caso, mostrou que a sistemática proposta agrega informações muito importantes para o projeto do produto, possibilitando que a seleção de princípios de uniões de componentes de plástico injetado seja realizada de forma fundamentada e criteriosa.

Primeiramente, procedeu-se a uma breve descrição do método de irrigação por aspersão convencional. Na sequência, foi realizada a descrição e caracterização do engate sela. Após tudo isso, a sistemática proposta foi finalmente aplicada.

Conforme apresentado neste capítulo, a sistematização da seleção de princípios de uniões para o engate sela foi realizada em seis etapas sequenciais. Na primeira etapa foram identificados os componentes do engate sela: sela e braçadeira. Na segunda etapa procedeu-se à identificação das interfaces existentes, num total de oito interfaces, sendo três interfaces internas (entre componentes) e 5 interfaces externas (entre componentes e o meio externo). Com base no fato de que as uniões de componentes do engate sela são criadas e desenvolvidas nas interfaces internas, na terceira etapa ocorreu o estabelecimento dos requisitos de projeto para as três uniões do engate sela. Na quarta etapa, os requisitos de projeto das uniões são considerados para fins de classificação das mesmas quanto às características de reversibilidade, mobilidade, estanqueidade e acessibilidade. Após o processo de classificação das três uniões, selecionou-se os princípios de uniões que correspondem à classificação adotada. Na quinta etapa verificou-se a adequabilidade dos princípios de uniões selecionados na quarta etapa com os materiais constituintes dos componentes a serem unidos e com as condições ambientais atuantes sobre o engate sela. E finalmente na sexta etapa, ocorre a seleção final dos princípios de uniões para o engate sela, utilizando-se o Método da Matriz Decisão de PUGH, onde os princípios de uniões provenientes da quinta etapa são comparados entre si, utilizando-se para tanto os requisitos de projeto das uniões. O processo de sistematização culminou com a escolha final de dois princípios ou tipos de

uniões para os componentes do engate sela: engates integrais anulares para as duas uniões da braçadeira com a sela; e parafuso passante para a união existente na própria braçadeira.

É importante ressaltar que o preenchimento da matriz decisão para a seleção final do princípio de união deve ser realizado por equipes multidisciplinares, a fim de gerar informações precisas e confiáveis. Devido ao fato da matriz decisão ser preenchida com base no julgamento de pessoas, a falta de conhecimento do produto e a inexperiência das mesmas pode conduzir a resultados incorretos.

Os resultados obtidos através da aplicação do método da matriz decisão apresentam um certo grau de subjetividade. Assim, deve-se ter um cuidado especial ao interpretar tais resultados. Como citado anteriormente, os resultados ou escores não devem ser tratados como medidas absolutas do valor das alternativas, e sim como uma orientação. Para melhor compreensão do problema, recomenda-se refazer as comparações utilizando o princípio de união com o mais alto escore, como sendo a nova referência. Este procedimento deverá ser feito até que claramente transpareça o melhor princípio de união.

A aplicação da sistemática mostrou que a mesma apresenta grande potencial para ser validada, pois resultou na seleção final bem sucedida de dois princípios de uniões para os componentes do engate sela. Contudo, a sistemática será somente validada após muitas experimentações e avaliações.

No próximo capítulo serão apresentadas as conclusões da dissertação, uma síntese dos resultados, as contribuições alcançadas, e algumas proposições para futuros estudos e novos desenvolvimentos.

## **CAPÍTULO 7 - CONCLUSÕES**

### **7.1 - Conclusões gerais**

As principais proposições de metodologias de projeto de produtos estudadas, apesar de suas especificidades, apresentam elementos similares. Existe muita similaridade entre elas e as diferenças encontradas ocorrem normalmente na terminologia empregada pelos autores e no detalhamento dos processos de projeto. Assim, é possível estabelecer um modelo de consenso para o projeto sistemático de produtos, o qual representa, de maneira abrangente, as proposições de metodologias de projeto processuais.

A análise das atuais metodologias de projeto de produtos também demonstrou que estas fornecem poucas informações a respeito de como proceder com o projeto dos componentes e suas interfaces/uniões. Além disso, detectou-se uma grande lacuna no processo de projeto: a ausência de uma sistemática para seleção de princípios de uniões de componentes, tornando-se a principal justificativa para a realização deste trabalho de dissertação.

Realizou-se também uma avaliação geral do domínio de produtos de plástico injetado, iniciando-se com uma análise das principais abordagens que vêm sendo desenvolvidas para o projeto de produtos. Verificou-se que grande parte das abordagens são voltadas, em geral, para a avaliação ou o reprojeto da geometria do componente de plástico, sob as restrições da manufatura. Além disso, estas abordagens trazem poucas informações a respeito de como proceder com o projeto dos componentes e suas interfaces/uniões. As uniões de componentes de plástico injetado podem ser obtidas por meio de parafusos, insertos, rebites, engates integrais, dobradiças, interferência, processos de soldagem, adesivos e solventes.

De um modo geral, verificou-se uma grande lacuna entre a transição do projeto conceitual para o projeto preliminar de produtos, devido à inexistência de uma sistemática para seleção de princípios de uniões de componentes de plástico injetado que incluía um conjunto de parâmetros tais como: condições de serviço/ambiente; carregamentos mecânicos; facilidade de montagem/desmontagem; materiais utilizados; etc. Na realidade, na seleção do princípio de união de dois ou mais componentes existem somente indicações ou recomendações isoladas.

Encerrando a revisão bibliográfica, efetuou-se o levantamento e caracterização dos principais princípios de uniões de componentes de plástico injetado. Na sequência, foram mostradas as diversas classificações existentes na literatura para os princípios de uniões. Foi

proposto um novo sistema de classificação para os princípios de uniões de componentes de plástico injetado.

Através da realização da revisão bibliográfica, obteve-se os subsídios necessários para a sistematização da seleção de princípios de uniões de componentes de plástico injetado.

Sabe-se que a moldagem por injeção não é capaz de produzir todos os tipos e tamanhos de estruturas. Conseqüentemente, muitas vezes a alternativa de melhor custo benefício é moldar dois ou mais componentes em separado, efetuando-se posteriormente a união destes através de um ou mais princípios de uniões. Segundo ULLMAN (1992), para a maioria dos produtos, as funções ocorrem nas interfaces existentes entre os componentes constituintes. Assim, para que o produto desempenhe efetivamente as suas funções, tais componentes precisam estar conectados da melhor maneira possível. Isto depende diretamente da seleção correta do princípio de união mais adequado para os componentes adjacentes em questão.

Nesta dissertação, foi proposta uma sistemática para seleção de princípios de uniões de componentes de plástico injetado. A mesma encontra-se representada por etapas, para facilitar o processo de adoção pela equipe de um projeto. A sistemática encontra-se estruturada em seis etapas. Inicialmente todos os princípios de uniões são considerados pela sistemática. À medida que as etapas são aplicadas, vários princípios ou tipos de uniões são eliminados do processo, restando, ao final, somente alguns princípios de uniões.

Com o objetivo de avaliar as potencialidades da sistemática proposta bem como para validar a mesma, apresentou-se um estudo de caso, onde a sistemática desenvolvida para a seleção de princípios de uniões de componentes de plástico injetado foi aplicada. Esta foi empregada para selecionar os princípios de uniões para um engate sela, o qual destina-se à aplicação em sistemas portáteis de irrigação por aspersão convencional.

Para o desenvolvimento do estudo de caso, inicialmente procedeu-se a uma breve descrição do método de irrigação por aspersão convencional. Na sequência, realizou-se a descrição e caracterização do engate sela. Após tudo isso, a sistemática proposta foi finalmente aplicada.

O processo de sistematização culminou com a definição final bem sucedida de dois princípios de uniões para os componentes do engate sela: engates integrais anulares para as duas uniões da braçadeira com a sela; e parafuso passante para a união existente na própria braçadeira.

Conseguiu-se reunir, analisar e organizar um conjunto de informações essenciais para o desenvolvimento integrado da sistemática. Dentre essas, incluem-se informações relativas aos diferentes tipos de materiais, às condições de uso a que o produto estará submetido, a respeito

dos diferentes tipos de esforços mecânicos atuantes sobre a união, aspectos estéticos, etc. O conjunto dessas informações formou a base do processo de tomada de decisão para a seleção de princípios de uniões de componentes de plástico injetado. Todas essas informações foram analisadas de maneira integrada, gerando-se e organizando-se conhecimento para tomadas de decisão específicas no processo de seleção de princípios de uniões, principalmente quando ocorrem dependências entre as variáveis específicas envolvidas.

No processo de sistematização da seleção de princípios de uniões para o engate sela, o estabelecimento dos requisitos de projeto das uniões mostrou-se fundamental para a execução do mesmo. O levantamento desses requisitos consistiu na base de todo o processo de sistematização, sendo portanto, a etapa mais relevante da sistemática proposta. O levantamento dos requisitos caracterizou cada uma das uniões do engate sela. Assim, o estabelecimento dos requisitos de projeto foi realizado com bastante cuidado, pois caso estes fossem mal definidos, fatalmente resultaria numa incorreta seleção do princípio de união, o que poderia comprometer o produto final como um todo.

O objetivo inicial do trabalho foi alcançado, pois conseguiu-se sistematizar o processo de seleção de princípios de uniões de componentes de plástico injetado. De um modo geral, o desenvolvimento do estudo de caso, mostrou que a sistemática proposta agrega informações muito importantes para o projeto do produto, possibilitando que a seleção de princípios de uniões de componentes de plástico injetado seja realizada de forma fundamentada e criteriosa.

A aplicação da sistemática mostrou que a mesma apresenta grande potencial para ser validada, pois culminou com a seleção final bem sucedida de dois princípios de uniões para os componentes do engate sela. Coincidentemente, os princípios de uniões selecionados são idênticos aos existentes nos modelos de engate sela disponíveis no mercado, o que pode ser considerado como um bom indicativo da confiabilidade da sistemática proposta. Porém, a validação da sistemática somente será obtida após muitas experimentações e avaliações, as quais devem ser efetuadas pelo maior número possível de profissionais da área técnica.

O estudo de caso também mostrou que a sistemática é de fácil utilização por uma equipe de projeto. Consequentemente aumenta-se a produtividade da equipe como um todo.

Aparentemente não existem restrições para que a sistemática proposta seja aplicada por exemplo, para selecionar os princípios de uniões de componentes metálicos. Tal constatação comprovaria a versatilidade dessa sistemática.

Este trabalho contribuiu para a evolução do estado da arte no projeto de produtos. A principal contribuição deste trabalho corresponde à sistematização do conhecimento relativo ao

processo de seleção de princípios de uniões de componentes de plástico injetado. A sistematização possibilita também a realização do projeto de maneira integrada, segundo os princípios de Engenharia Simultânea. Assim, como consequência deste trabalho, serão geradas informações e critérios a serem usados na tomada de decisões em projeto de componentes; redução do tempo de projeto dos componentes; redução dos custos de projeto dos componentes; redução dos custos de desenvolvimento dos componentes; redução dos custos de fabricação do molde e maior agregação de valor percebido pelo cliente no produto final. Outra contribuição importante oferecida por este trabalho é a proposição de um novo sistema de classificação para os princípios de uniões de componentes, o qual foi aplicado para as uniões de componentes de plástico injetado.

Este trabalho também contribuiu para a integração inicial entre o NEDIP (Núcleo de Desenvolvimento integrado de Produtos) e o CIMJECT (Centro de Informações em Manufatura Integrada por Computador, para Componentes de Plástico Injetado) do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina.

## **7.2 - Recomendações para trabalhos futuros**

Como este trabalho foi uma primeira tentativa de sistematização da seleção de princípios de uniões de componentes de plástico injetado, existe um grande potencial para execução de novos trabalhos dentro desta linha de pesquisa bem como algumas recomendações para trabalhos futuros:

- Desenvolvimento de sistemáticas que incorporem o custo, facilidade de fabricação e taxas de produção dos princípios de uniões como requisitos de projeto das uniões. O custo aqui, englobaria os custos de fabricação e montagem dos princípios de uniões. Na literatura atual, as informações a respeito do custo, facilidade de fabricação e taxas de produção dos princípios de uniões são bastante limitadas, extremamente qualitativas, sendo portanto de difícil utilização. Uma tarefa importante seria pesquisar, reunir e organizar essas informações de maneira que estas possam vir a ser utilizadas como critérios de comparação para a seleção final de princípios de uniões de componentes.
- Desenvolvimento de sistemas especialistas e/ou apoio ao projeto com o objetivo de automatizar o processo de sistematização da seleção de princípios de uniões de componentes, através do desenvolvimento de bancos de dados com informações sobre princípios de uniões,

materiais, carregamentos mecânicos, condições ambientais atuantes, custos dos princípios de uniões, facilidade de fabricação e taxas de produção.

- Aplicação da sistemática proposta em outras situações tais como seleção de princípios de uniões de componentes metálicos, por exemplo. Seria uma boa oportunidade para analisar o comportamento da sistemática proposta perante outros domínios da engenharia.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABIPLAST - Associação Brasileira da Indústria do Plástico. **O plástico no Brasil**. 2000.
- ANDREASEN M. **Design for assembly**. - 2nd ed. Springer-Verlag: Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokyo. 1988.
- ASHBY, M.F. **Materials Selection in Mechanical Design**. Pergamon Press. Oxford, 1992.
- ASIMOV, M. **Introdução ao Projeto**. São Paulo: Editora Mestre Jou, 1968.
- BACK, N. **Metodologia de projeto de produtos industriais**. Rio de Janeiro: Ed. Guanabara Dois, 1983.
- BACK, N. **Metodologia de Desenvolvimento Rápido de Produtos de Injeção**. Encontro para o Desenvolvimento Integrado de Processos e Produtos de Injeção de Plásticos, Metais e Cerâmicas. Semana da Qualidade e Inovação Tecnológica. Florianópolis, setembro de 1998.
- BACK, N.; FORCELLINI, F. A. **Projeto de produtos**. Apostila (EMC 6605) - CTC/EMC, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1998.
- BEALL, G. **Getting There More Quickly**. IMM ON LINE. Disponível na Internet. <http://www.plasticsnet.com/live/imm/beall297.stm>. December, 1997.
- BEITER, K.; CARDINAL, J; ISHII, K. **Design for Injection Molding: Balancing Mechanical Requirements, Manufacturing Costs and Material Selection**. Proceedings of the ASME Computer Integrated Design Conference. September, 1995.
- BEITZ, W. **Designing for Ease of Recycling - General Approach and Industrial Application** - Proceedings of ICED 1993, pg 731-738. The Hague.
- BLANCHARD, B.S and FABRICKY, W.J. **Systems Engineering and Analysis** - Second edition. Prentice-Hall Inc. 1990.
- BLASS, Arno. **Processamento de polímeros**. Florianópolis: 2 ed. Ed. da UFSC, 1988.
- BRALLA, J. G. **Handbook of product design for manufacturing: a practical guide to low-cost production**. New York : McGraw-Hill, 1986.
- BRASCOLA. **Catálogo de Informações Técnicas**. Brascola Ltda - Eng<sup>a</sup> de Aplicações. São Bernardo do Campo, 1999.
- CHIN, K; WONG, T. **Knowledge-based evaluation for the conceptual design development of injection molding parts**. Proceedings: Engng Applic. Artif. Intell. Vol. 9, No. 4, 1996. p.359-376.
- CREAMER, R. **Machine Design**. Addison Wesley Publishing Company, 1968.

DEUTSCHMAN, A.; WILSON, C.; MICHELS, W. **Machine Design: theory and practice**. Macmillan Publishing. New York, 1975.

DONG, Z. **The Development of CAD Software Package for Modular Form Design of Machine Elements**. Proceedings of ICED 1991, p. 1036-1041. Zurich.

ENDEBROCK, K.; GIEB, M.; WELP, E. **Design Strategies and Methods for the Design for Recycling and Maintenance**. Proceedings of ICED 1997 - pg 607-610, Tampere.

FAIRES, V. **Elementos Orgânicos de Máquinas**. USAID. Rio de Janeiro, 1966.

FERREIRA, C. **Estimativa de Custos na Fase de Projeto Conceitual: Uma Metodologia para Seleção da Estrutura Funcional e da Alternativa de Solução**. Dissertação. EMC. UFSC. 1997.

FONSECA, A.J.H. **Sistematização do processo de elaboração das especificações de projetos de produtos industriais e sua implementação computacional**. Florianópolis, 1998. Proposta de Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina. Trabalho não publicado.

FRADOS, J. **Plastics Engineering Handbook**. Society of the Plastic Industry, fourth edition. 1976.

FRANTZ, J. **Joining plastics the sound way**. Machine Design, Penton Publishing Inc. Cleveland, OH, (February 6, 1997).

GE - Engineering Thermoplastics. **Design Guide: Product Assembly**. 1999.

GOMES, H. **Engenharia de Irrigação: hidráulica dos sistemas pressurizados, aspersão e gotejamento**. 2ª Edição. Universidade Federal da Paraíba. Campina Grande, 1997.

GORDON, J. **Total Quality Process Control for Injection Molding**. Hanser, 1993.

HUBKA, V.; EDER, Ernst W. **Design science: Introduction to needs, scope and organization of engineering design knowledge**. 2. ed. Great Britain: Springer-Verlag London Limited, 1996.

KAGAN, V. **Good vibrations join thermoplastics fast**. Machine Design - August 5, 1999.

KOLLER, R. **Konstruktionslehre fur den Maschinenbau**. Heidelberg: Springer Verlag, 1985.

MACHADO, I. **Soldagem e técnicas conexas: processos**. Porto Alegre, 1996.

MALLOY, Robert A. **Plastic part design for injection molding: an introduction**. Munich; Viena; New York : Hanser, 1994.

NIEMANN, G. **Elementos de Máquinas - volume I**. Editora Edgard Blucher Ltda, 1971.

OBBERG, E.; JONES, F.; HORTON, H. **Manual Universal do Engenheiro - volume III**. Editora Hemus, 1979.

OBREGÓN F.; PHÉRES J.; BISSU E. **Manual de sistemas de unión y ensamble de materiales**. Editorial Trillas. México, 1986.

OGLIARI, A. **Sistematização da concepção de produtos auxiliada por computador com aplicações no domínio de componentes de plástico injetados**. Florianópolis, 1999. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina.

PAHL, G.; BEITZ, W. **Engineering Design: a Systematic Approach**. Springer-Verlag. Berlim, 1996.

PARMLEY, R. **Mechanical Components Handbook**. McGraw-Hill, 1985.

PERERA, U. S. **Concurrent Design of Products and Processes for Conceptual Design of Injection Molding**. Australia, 1997. Thesis. (Doctor of Philosophy). Department of Mechanical and Manufacturing Engineering, University of Melbourne.

PIRES E ALBUQUERQUE, O. **Elementos de Máquinas**. Editora Guanabara Dois. Rio de Janeiro, 1980.

PIZZATO, A. **Sistemática de Projeto para Produtos Modulares com Aplicação em Móveis**. Dissertação de Mestrado, EMC, UFSC, 1998.

PUGH, S. **Total Design: Integrated Methods for Successful Product Engineering**. Addison-Wesley Publishing Company, 1991.

RODENACKER, W.G. **Methodisches Konstruieren**. Berlin: Springer Verlag, 1991.

ROOSENBERG, N.; EEKELS J. **Product Design: Fundamentals and Methods**. John Wiley & Sons Ltd. England, 1995.

ROTH, K. **Konstruieren mit Konstruktionskatalogen**. Heidelberg: Springer Verlag, 1982.

ROTHBART, H. **Mechanical Design and Systems Handbook**. McGraw-Hill. USA, New Jersey, 1964.

ROTHEISER, J. **Joining os plastics: handbook for designers and engineers**. Munchen, Wien; Hanser; Cincinnati, Ohio, USA: Hanser Gardner, 1999.

ROUSE, N. **Improved Methods for Thermoplastic Bonding**. Machine Design. April 11, 1985.

SCHROCK, J. **Montagem, ajuste, verificação de peças de máquinas**; tradução de José R. da Silva; adaptação para o português do Brasil por Carlos Nayfeld. Editora Reverté. Rio de Janeiro, 1979.

SEEGERS, H. **Automotive Design for Recycling in GE Plastics**. Proceedings of ICED 1993 - pg 812-819. The Hague.

SIEGEL, M; MALEEV, V; HARTMAN, J. **Mechanical Design of Machines** - fourth edition. International textbook Company, 1965.

SONITRON - **Guia prático de soldagem de termoplásticos por ultra-som**. 1998.

TRES, P. **Designing Plastic Parts for Assembly** - 2nd, Revised Edition. Hanser, 1995.

TRUCKS, H.E. **Designing for Economical Production**. Second Edition. Society of Manufacturing Engineer - Publications Development Department. Dearborn, Michigan. 1988.

ULLMAN, David G. **The Mechanical Design Process**. McGraw-Hill. USA, 1992.

YOSHIKAWA, H. **Design Philosophy: The State of the Art**. *Annals of the CIRP*, Vol. 38/2/1989.

ZUKIN, MARCIO; FUCKS, HUGO; DALCOL, R.T. PAULO. **Digital Communication Technology: connecting design, engineering and manufacturing**. Working paper n. 01/97, Dept. of Computer Science, PUC-Rio, Jan. 1997. Disponível na Internet. <http://venus.rdc.puc-rio.br/marzukin/>.