



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DO PARANÁ
UNIDADE DE CURITIBA
DEPARTAMENTO DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
E DE MATERIAIS - PPGEM

JOÃO CARLOS BARRETO PIEKARSKI

MODELO PARA ANÁLISE ECONÔMICA
COMPARATIVA ENTRE ALTERNATIVAS DE
SISTEMAS DE FIXAÇÃO

CURITIBA

FEVEREIRO - 2004

Livros Grátis

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

Milhares de livros grátis para download.

JOÃO CARLOS BARRETO PIEKARSKI

**MODELO PARA ANÁLISE ECONÔMICA
COMPARATIVA ENTRE ALTERNATIVAS DE
SISTEMAS DE FIXAÇÃO**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica, do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais, do Departamento de Pesquisa e Pós-Graduação, da Unidade de Curitiba, do CEFET-PR.

Orientador: Prof. Carlos Cziulik, Ph.D.

CURITIBA

FEVEREIRO - 2004

P613m Piekarski, João Carlos Barreto
Modelo para análise econômica comparativa entre as alternativas de sistemas de fixação / João Carlos Barreto Piekarski. – Curitiba : [s.n.], 2004.
181 f. : il. ; 30 cm

Orientador : Prof. Ph.D.Carlos Cziulik
Dissertação (Mestrado) – CEFET-PR. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais. Curitiba, 2004.
Bibliografia : f. 113-17

1. Sistemas flexíveis de manufatura. 2. Processos de fabricação – Custos. 3. Sistemas de fixação de peças. 4. Furação por escoamento. 5. Usinagem – Custos – Avaliação. 6. Software – Desenvolvimento. 7. Engenharia de produção. I. Cziulik, Carlos, orient. II. Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais. III. Título.

CDD : 670.427

CDU : 67.02:681.3

TERMO DE APROVAÇÃO


JOÃO CARLOS BARRETO PIEKARSKI

MODELO PARA ANÁLISE ECONÔMICA COMPARATIVA ENTRE ALTERNATIVAS DE SISTEMAS DE FIXAÇÃO

Dissertação de Mestrado aprovada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais, do Departamento de Pesquisa e Pós-Graduação, da Unidade de Curitiba, do CEFET-PR, pela seguinte banca examinadora:


Orientador: Prof. Carlos Cziulik, Ph.D.

Departamento de Engenharia Mecânica, CEFET-PR


Prof. Rolf Bertrand Schroeter, Dr. Eng.

Departamento de Engenharia Mecânica, UFSC


Prof. Alfredo Iarozinski, Dr. És Sci.

Departamento de Engenharia de Produção Civil, CEFET-PR


Prof. Paulo André de Camargo Beltrão, Ph.D.

Departamento de Engenharia Mecânica, CEFET-PR

Curitiba, 19 de fevereiro de 2004

À minha esposa Teresa e aos nossos
filhos André, Fernanda e Ricardo.

AGRADECIMENTOS

À minha esposa Teresa e meus filhos André, Fernanda e Ricardo, que souberam compreender a minha dedicação aos estudos, me aturaram nos momentos de cansaço e aceitaram o tempo que deixei de passar com eles, e ainda me deram o maior apoio para continuar este trabalho.

Ao meu pai e minha mãe (*in memoriam*) que me ensinaram os princípios básicos da vida, e sempre me incentivaram e apoiaram nos estudos.

Ao meu orientador Carlos Cziulik que mostrou o caminho a ser seguido, sempre insistindo na qualidade e nas proteínas que este trabalho deveria possuir, nunca deixando de cobrar o cumprimento das etapas e datas por nós acordadas.

À instituição CEFET-PR pela oportunidade oferecida e aos professores pela dedicação, apoio e ensinamentos fornecidos.

Aos meus colegas de mestrado por todas as críticas e pelo incentivo dado nos momentos em que parecia que ia dar tudo errado.

Aos meus amigos e colegas da Volvo do Brasil que me incentivaram e me ajudaram, e à própria empresa que me permitiu utilizar informações e forneceu recursos para realizar esta pesquisa, em especial a Maurício Tadeu, Jorge Tadeu Fagundes e Everly Campos, cuja dedicação foi decisiva para realizar os experimentos, e ao Paulo Drevek e Osvaldo Yoshida que me ajudaram nos assuntos relacionados aos custos.

Às empresas que me forneceram as informações necessárias para este trabalho, BCC, Dauer, Magius, *Flowdrill* e *Guhring*.

“Nunca ande pelo caminho traçado, pois
ele conduz somente até onde os outros
foram”.

(Alexander Graham Bell)

RESUMO

O interesse das indústrias em reduzir seus custos está cada vez mais acentuado, e os projetistas ainda carecem de ferramentas que auxiliem a decidir a melhor opção para um projeto na fase inicial de desenvolvimento dos produtos, sob o ponto de vista econômico. Assim, neste trabalho são estudados os custos inerentes às diversas fases do ciclo de vida de um produto, iniciando pela aquisição, passando pela manufatura e montagem e, ainda, considerando os custos de manutenção do produto final pelo cliente. O estudo considera as diferenças de custos decorrentes de alternativas de conceito de manufatura que o sistema de fixação pode ter, e todas as conseqüências nas demais fase do ciclo de vida. Foram definidos dois processos alternativos para a manufatura dos elementos do sistema de fixação: furação convencional (com brocas helicoidais) e furação por escoamento complementada por conformação de roscas nas buchas escoadas, sendo consideradas as conseqüências destas alternativas (e.g. quantidade de peças, ferramentas para montagem e manutenção) nas demais fases do ciclo de vida do produto. Propõe-se uma metodologia e um modelo para a comparação das alternativas, visando permitir ao projetista visualizar os custos relativos do sistema de fixação ainda no início do projeto. Para este trabalho, o produto escolhido é um sistema de fixação desmontável, composto de chapas finas de aço (elemento base) e elementos fixadores (porcas e parafusos). A comparação entre os resultados obtidos pelo modelo e durante experimentos em um caso real, indicam a possibilidade de aplicação da metodologia pelos projetistas para auxiliá-los na escolha da alternativa mais econômica.

Palavras-chave : custos, análise econômica, sistemas de fixação, *Flowdrill*, furação por escoamento, comparativo de custos

ABSTRACT

The main focus on industries is the product cost reduction. Tools and techniques to estimate costs at initial product development stage are still scarce to designers, which lead them to modify the project later on to obtain savings. This study presents the cost consequences of a manufacturing choice on all product development stages, from Purchasing to Customer, including Manufacturing, Assembly, and Maintenance. The different costs related to each manufacturing alternative are considered, including the consequences on other phases of the product lifetime cycle. Conventional drilling and flowdrilling plus cutless tapping have been the two alternatives considered in this comparison. A methodology and a model have been developed which presents comparison costs between the two alternatives. The results can be analysed by the designer at the beginning of product development. The model considers a demountable joint system containing screws, nuts and thin steel plates. An experiment has been performed (real case) and the results compared to the model. The results indicate the relevance of the model to the designers, in helping to choose the best economic solution.

Keywords : costs, economic analysis, joint systems, Flowdrill, thermal drilling, cost comparison

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Diagrama do conteúdo da dissertação.	23
Figura 2 - Alternativas de sistemas de fixações desmontáveis.	24
Figura 3 - Fluxograma do Capítulo 2.....	25
Figura 4 - Exemplos de opções para fixação de chapas.	27
Figura 5 - Requisitos para um sistema de fixação, (Stark, 1977).....	28
Figura 6 - Furação por usinagem (broca helicoidal).	29
Figura 7 - Furação por escoamento.....	31
Figura 8 - Rosqueamento por conformação.....	32
Figura 9 - Furação por estampagem.	35
Figura 10 - Rosqueamento por usinagem (macho de corte).....	36
Figura 11 - Efeitos do projeto no custo do produto, (Daetz, 1987).....	42
Figura 12 - A solução técnica e a proposta do modelo.	49
Figura 13 - Interação entre as áreas.	50
Figura 14 - Fases do ciclo de vida do produto consideradas para a definição do modelo.	51
Figura 15 - Modelo Pro-Comp.	52
Figura 16 - Fluxograma das alternativas.....	55
Figura 17 - Especificação do sistema de fixação.	87
Figura 18 - Saída com resultados comparativos.	87
Figura 19 - Conjunto para a validação do modelo.....	88
Figura 20 - Especificação do sistema de fixação para validação do modelo.	92
Figura 21 - Saída de resultados para validação do modelo.	92
Figura 22 - Sensibilidade do modelo - espessura x custo.	95
Figura 23 - Sensibilidade do modelo - diâmetro da rosca x custo.....	96

Figura 24 - Sensibilidade do modelo - quantidade de furos x custo.	97
Figura 25 - Sensibilidade do modelo – volume anual de sistemas de fixação x custo.	98
Figura 26 - Chapa a ser furada.....	100
Figura 27 - Conjunto da chapa e sistemas de fixação comparados.	101
Figura 28 - Esboço da bancada a ser utilizada para o experimento nas fases de montagem e manutenção.....	101
Figura 29 - Execução da furação por escoamento e convencional.....	102
Figura 30 - Pré-montagem e montagem do conjunto em bancada durante o experimento.....	103
Figura 31 - Sistema de fixação atual e alternativa.	103
Figura 32 - Especificações do caso real.	107
Figura 33 - Resultados Comparativos do caso real.	107
Figura 34 - Seção transversal das ferramentas para furação por escoamento.	118
Figura 35 - Patentes relacionadas com a furação por escoamento, (<i>European Patent Office, 2001</i>) e (<i>USPTO, 2001</i>).	119
Figura 36 - Marcos históricos da furação por escoamento.....	120
Figura 37 - Marcos históricos do rosqueamento por conformação.	122
Figura 38 - Aplicações da furação por escoamento, (<i>Flowdrill, 1995</i>) e (<i>Flowdrill, 2000</i>).	155
Figura 39 - Aplicações da furação por escoamento, (<i>Weingaertner et al, 1996</i>) e (<i>Flowdrill, 2001</i>).	156
Figura 40 - Partes da ferramenta e formato da bucha, (<i>Flowdrill, 1995</i>).	157
Figura 41 - Etapas do processo, (<i>Flowdrill, 2000</i>).	158
Figura 42 - Conjunto da ferramenta para montar no mandril de uma furadeira, (<i>Flowdrill, 2000</i>).	159

Figura 43 - Formas das ferramentas e seção transversal da bucha escoada, (Flowdrill, 2000).....	160
Figura 44 - Diagrama de aplicações espessura x diâmetro, (Flowdrill, 2000).....	161
Figura 45 - Macho para conformação e macho para usinagem, (Fantin, 1992) e (Flowdrill, 2001).....	163
Figura 46 - Conformação do filete da rosca na peça, (Weingaertner et al, 1997). ..	163

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Componentes do Sistema de Fixação.	26
Tabela 2 - Aspectos da usinagem a seco à altas velocidades, (Santos; Silva, 2001).	30
Tabela 3 - Principais riscos ambientais dos fluidos de corte (uso, manuseio e descarte), (Dias et al, 2001).	38
Tabela 4 - Materiais poluentes e efeitos nocivos das águas residuárias industriais, (Vale, 1975).	39
Tabela 5 - Composição de custos, (Casarotto Filho; Kopittke, 2000).	44
Tabela 6 - Valores de vida útil para depreciação, (Receita Federal, 2003).	46
Tabela 7 - Resumo das citações e influências nos resultados em cada alternativa.	47
Tabela 8 - Modelo da ficha de Especificação do sistema de fixação.....	57
Tabela 9 - Modelos das Fichas preenchidas com informações de matéria-prima.....	61
Tabela 10 - Modelo da Ficha com os dados de embalagens.	63
Tabela 11 - Modelo da Ficha com os dados dos equipamentos.	66
Tabela 12 - Modelo da Ficha com os dados das ferramentas para manufatura.....	68
Tabela 13 - Modelo da Ficha com os dados dos materiais auxiliares.	72
Tabela 14 - Modelo da Ficha com os dados das ferramentas para montagem e manutenção.....	75
Tabela 15 - Modelo da Ficha preenchida com informações econômicas e administrativas.....	79
Tabela 16 - Modelo da Ficha com os Resultados dos cálculos.	80
Tabela 17 - Modelo da Ficha de Saída com os Resultados Comparativos.	81
Tabela 18 - Equações dos custos da fase de Aquisição e Estocagem.	82
Tabela 19 - Equações dos custos da fase de Manufatura.....	82
Tabela 20 - Equações dos custos da fase de Montagem.	84

Tabela 21 - Equações dos custos da fase de Manutenção.....	84
Tabela 22 - Equações dos tempos de Manufatura.	85
Tabela 23 - Equações dos tempos de Montagem.....	86
Tabela 24 - Equações dos tempos de Manutenção.....	86
Tabela 25 - Resultados dos cálculos de custos (manuais).....	89
Tabela 26 - Resultados dos cálculos de tempos (manuais).	90
Tabela 27 - Resultados comparativos dos cálculos de custos (manuais).....	91
Tabela 28 - Resultados comparativos dos cálculos de tempos (manuais).	91
Tabela 29 - Capacidades de ferramentas para furação por escoamento.	93
Tabela 30 - Resultados dos cálculos de custos (experimento).....	104
Tabela 31 - Resultados dos cálculos de tempos (experimento).	105
Tabela 32 - Resultados comparativos dos cálculos de custos (experimento).	106
Tabela 33 - Resultados comparativos dos cálculos de tempos (experimento).	106
Tabela 34 - Equipamentos utilizados para caso real.	126
Tabela 35 - Medição do tempo de montagem.	129
Tabela 36 - Medição do tempo de manutenção (em segundos).	130
Tabela 37 - Exemplo das considerações para o cálculo da mão-de-obra adicional na montagem.	146
Tabela 38 - Exemplo das considerações para o cálculo da mão-de-obra adicional na Manutenção pelo Cliente.....	147
Tabela 39 - Espessuras de chapas finas de aço, em mm.	164
Tabela 40 - Dimensões das porcas, em mm.....	165
Tabela 41 - Furadeiras para furação por escoamento.	166
Tabela 42 - Furadeiras para furação convencional e para escarear.....	167
Tabela 43 - Rosqueadeiras e Furadeiras com cabeçote para rosqueamento.....	168
Tabela 44 - Ferramentas para manufatura.....	169

Tabela 45 - Materiais auxiliares.....	169
Tabela 46 - Ferramentas manuais.....	170
Tabela 47 - Embalagens.....	170
Tabela 48 - Número de lados do equipamento, (Vale, 1975).....	172
Tabela 49 - Valores do fator K, (Vale, 1975).....	172
Tabela 50 - Avanços para furação com brocas de aço-rápido, (SKF, 1987).....	175
Tabela 51 - Tempos para carga e descarga na usinagem, (Boothroyd et al, 1994).	175
Tabela 52 - Tempos para ajustes em furadeiras, (Boothroyd et al, 1994).	175
Tabela 53 - Mão-de-obra sem encargos sociais na Região Sul, (Deloitte Touche Tohmatsu, 2002).	177
Tabela 54 - Encargos sociais pagos pela empresa, (Vianna, 2000).....	177
Tabela 55 - Simbologia utilizada para MTM.....	180
Tabela 56 - Exemplo de tabela de Tempos TMU, (Toledo Jr., 1986).	181

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	- Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANSI	- <i>American National Standards Institute</i>
ASTM	- <i>American Society for Testing and Materials</i>
CEFET-PR	- Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná
DIN	- <i>Deutsches Institut für Normung</i>
FGTS	- Fundo de Garantia por Tempo de Serviço
FPAS	- Fundo de Previdência e Assistência Social
HSS-E	- <i>High Speed Steel Cobalt Alloy</i>
INCRA	- Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
INPC	- Índice Nacional de Preços ao Consumidor
INSS	- Instituto Nacional do Seguro Social
ISO	- <i>International Organization for Standardization</i>
MTM	- <i>Methods-Time Measurement</i>
OSG	- <i>Osawa Screw Grinding</i> (Fabricante de ferramentas)
PVC	- <i>Polyvinyl Chloride</i>
SAT	- Seguro de Acidente de Trabalho
SEBRAE	- Serviço de Apoio às Micro e Pequenas Empresas
SENAI	- Sistema Nacional de Aprendizagem Industrial
SESC	- Serviço Social do Comércio
SESI	- Serviço Social da Indústria
SKF	- <i>SKF</i> (Fabricante de ferramentas)
TMU	- <i>Time Measurement Unit</i>
UFSC	- Universidade Federal de Santa Catarina
UCM	- Unidade de Comparação Monetária
UCT	- Unidade de Comparação de Tempo
UM	- Unidade Monetária

LISTA DE SÍMBOLOS

- ? - Pi (constante equivalente a 3,14159265....)
- s - ângulo da ponta da broca

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS

RESUMO

ABSTRACT

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

LISTA DE SÍMBOLOS

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
1.1	A situação atual e a relevância do problema.....	19
1.2	Objetivos	20
1.3	Hipótese	21
1.4	Conteúdo da dissertação.....	22
2	SISTEMAS DE FIXAÇÃO: ALTERNATIVAS E CONSEQÜÊNCIAS	24
2.1	Considerações iniciais	24
2.2	Sistemas de fixação desmontáveis em peças metálicas (chapas finas).....	26
2.3	Alternativas para a manufatura	28
2.3.1	Furação com brocas helicoidais	29
2.3.2	Furação por escoamento	31
2.3.3	Rosqueamento por conformação	32
2.3.4	Outros processos	34
2.4	Montagem	36
2.5	Manutenção pelo cliente final	38
2.6	Meio ambiente.....	38
2.7	O projeto e o custo final de um produto.....	40
2.8	Composição de custos	43
2.9	Análise das informações coletadas	46
3	PROPOSTA DE MODELO PARA A AVALIAÇÃO ECONÔMICA COMPARATIVA ENTRE ALTERNATIVAS DE SISTEMAS DE FIXAÇÃO	48
3.1	Considerações iniciais	48
3.2	Descrição do modelo Pro-Comp	53
3.2.1	Considerações e parâmetros do modelo Pro-Comp.....	55
3.2.2	Especificação do sistema de fixação.....	57
3.2.3	Aquisição e Estocagem.....	59

3.2.4	Manufatura.....	64
3.2.5	Montagem.....	73
3.2.6	Manutenção anual.....	76
3.2.7	Informações gerais.....	79
3.3	Saída dos resultados comparativos.....	79
3.4	Sumário das equações aplicáveis ao modelo Pro-Comp.....	81
3.5	Desenvolvimento de ferramenta computacional.....	86
3.6	Teste do modelo.....	88
4	ANÁLISE DE SENSIBILIDADE E APLICAÇÃO DO MODELO.....	93
4.1	Análise de sensibilidade do modelo.....	93
4.2	Aplicação do modelo para validação em um caso real.....	99
4.3	Validação da hipótese.....	109
4.4	Conclusão sobre o modelo proposto.....	109
5	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	110
5.1	CONCLUSÕES.....	110
5.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	111
	REFERÊNCIAS.....	113
	APÊNDICE A - FURAÇÃO POR ESCOAMENTO - HISTÓRICO.....	118
	APÊNDICE B - ROSQUEAMENTO POR CONFORMAÇÃO - HISTÓRICO.....	121
	APÊNDICE C - CONJUNTO ESCOLHIDO PARA EXPERIMENTOS.....	123
	APÊNDICE D - EQUAÇÕES PARA OS CÁLCULOS DE CUSTOS.....	132
	APÊNDICE E - EQUAÇÕES PARA OS CÁLCULOS DOS TEMPOS DE OPERAÇÃO	139
	APÊNDICE F - EQUAÇÕES PARA OS CÁLCULOS DAS EMBALAGENS.....	148
	APÊNDICE G - EQUAÇÕES PARA OS CÁLCULOS DOS MATERIAIS AUXILIARES	150
	ANEXO A - FURAÇÃO POR ESCOAMENTO - GERAL.....	152
	ANEXO B - FURAÇÃO POR ESCOAMENTO - APLICAÇÕES.....	154
	ANEXO C - FURAÇÃO POR ESCOAMENTO - PROCESSO E FERRAMENTAS	157
	ANEXO D - ROSQUEAMENTO POR CONFORMAÇÃO.....	162
	ANEXO E - MATÉRIA-PRIMA.....	164
	ANEXO F - EQUIPAMENTOS.....	166
	ANEXO G - ÁREAS PARA INSTALAÇÃO E OPERAÇÃO.....	171
	ANEXO H - CICLO E TEMPOS DE USINAGEM.....	173
	ANEXO I - MÃO-DE-OBRA.....	177
	ANEXO J - MEDIDA DE TEMPO DOS MÉTODOS - MTM.....	179

1 INTRODUÇÃO

1.1 A situação atual e a relevância do problema

Redução de custos é o resultado mais procurado pelas indústrias na atualidade, e deverá ser por algum tempo ainda um dos mais importantes objetivos. Assim, cada vez mais as indústrias buscam novos meios para reduzir os custos dos componentes, que tem grande influência no custo final do produto. Cabe ao projetista buscar soluções inovadoras em materiais, processos de manufatura e de montagem. Entretanto, eles não possuem ferramentas que auxiliem no início do projeto a tomar as decisões entre as alternativas estudadas, sob o ponto de vista econômico. Os métodos existentes e utilizados são focados na manufatura e na montagem. Nenhuma metodologia considera o cliente final do produto, que é o responsável pelo sucesso das vendas e pela sobrevivência das indústrias.

Entre as várias oportunidades para obter menores custos de produtos, estão as diversas possibilidades de manufatura de componentes. Assim, neste trabalho procura-se analisar dois processos distintos que podem ser aplicados na confecção de sistemas de fixação em peças metálicas.

Os processos convencionais para a manufatura de componentes que utilizam fixações desmontáveis de peças metálicas por meio de parafusos, porcas e arruelas (e.g. duas chapas, chapas em suportes ou painéis) necessitam de vários equipamentos e ferramentas para sua fabricação e montagem, diversidade de peças, maior tempo para manufatura e montagem, desenvolvimento de várias peças, logística para cada peça, entre outros, resultando em custos elevados para as indústrias e, conseqüentemente, para o cliente final. Este raciocínio também se aplica ao cliente final durante a manutenção do produto adquirido.

Ainda, os cavacos resultantes dos processos convencionais de usinagem, entre eles a furação com brocas helicoidais e o rosqueamento com machos de corte, provocam danos aos equipamentos (e.g. desgaste por abrasão) além de necessitarem de remoção e posterior reaproveitamento ou reprocessamento da matéria-prima. No caso da confecção dos furos por estampagem, também existe a geração de sobras de material, com efeitos similares.

Os processos de usinagem requerem sistemas de lubri-refrigeração (fluidos de corte) que são caros e podem causar danos ao meio ambiente, aos equipamentos e até mesmo à saúde dos operadores envolvidos nos processos. O reaproveitamento destes fluidos ou até mesmo o seu descarte são custosos, o que encarece ainda mais o processo produtivo.

O processo de furação por escoamento é de recente desenvolvimento e pouco conhecido pelas empresas, escolas e pesquisadores. Este processo contribui para a redução da diversidade de peças, dos tempos de fabricação, de montagem e de manutenção, de espaços e embalagens para estocagem de peças, de ferramentas e inexistência de cavacos, entre outros, que devem resultar em menores custos para as indústrias e seus clientes.

Os estudos realizados no Brasil sobre a furação por escoamento concentram-se em analisar o processo de fabricação, qualidade, resistência, entre outros, focando na obtenção de parâmetros teóricos e técnicos do processo. A proposta desta dissertação é avaliar a viabilidade econômica em aplicação prática específica e servir de metodologia para avaliações comparativas que poderia se estender a outras aplicações de sistemas de fixação.

Os autores pesquisados citam apenas os processos e resultados obtidos em experimentos acadêmicos realizados em chapas de diversos metais com ênfase na parte técnica, não demonstrando os custos de manufatura, montagem e manutenção, que são as grandezas realmente importantes para a decisão sobre a utilização destes processos pela indústria.

1.2 Objetivos

O objetivo deste trabalho é apresentar uma metodologia e um modelo para acompanhamento e avaliação de custos comparativos entre duas alternativas de processos de manufatura de sistemas de fixação, considerando as diversas fases do ciclo de vida do produto: i) Aquisição e Estocagem; ii) Manufatura; iii) Montagem; e iv) Manutenção. Para atingir este objetivo, são necessários alguns objetivos específicos:

- a) Pesquisar e reunir referências e dados bibliográficos dos estudos sobre os processos de Furação Convencional, de Furação por Escoamento e Rosqueamento por Conformação;
- b) Pesquisar os componentes de custo das diversas fases que compõe o ciclo de vida de um produto (Aquisição e Estocagem, Manufatura, Montagem e Manutenção), definindo os componentes a serem comparados e suas conseqüências nas alternativas escolhidas (furação convencional e furação por escoamento);
- c) Pesquisar, desenvolver método de medição e modelo para realizar a comparação de custos entre duas alternativas de solução para um sistema de fixação, executando o registro e avaliação de variáveis econômicas, os dados e cálculos obtidos entre os processos comparados neste trabalho (processo de furação convencional de chapas de aço com brocas helicoidais, sendo a fixação feita com porcas e parafusos, e o processo de furação por escoamento complementado pelo rosqueamento por conformação, sendo a fixação feita apenas por parafusos), realizar experimentos comparativos entre estas alternativas e apresentar resultados comparativos e análise conclusiva;
- d) Divulgar o método de análise econômica proposto, de maneira que o projetista tenha uma ferramenta que possa utilizar durante a fase conceitual do projeto para decidir a alternativa com menores custos; e
- e) Divulgar os processos de furação por escoamento e rosqueamento por conformação, para que os projetistas conheçam mais estas novas alternativas de manufatura.

1.3 Hipótese

Considerando a necessidade de reduzir custos existentes nas indústrias, a falta de ferramentas para o projetista tomar decisões e a existência de novas tecnologias de manufatura, o resultado deste trabalho pretende tratar a seguinte hipótese:

“O modelo estruturado permite definir a melhor opção de projeto com suas conseqüências na manufatura para sistemas de fixação desmontáveis em chapas de

ação finas (na etapa do projeto conceitual ou projeto preliminar) sob o ponto de vista de custos.”

1.4 Conteúdo da dissertação

O diagrama na Figura 1 sumariza as principais atividades deste trabalho e a seqüência de execução.

O Capítulo 2 contém os estudos e as pesquisas realizadas. Estas informações permitiram escolher as alternativas a serem comparadas e a criar o modelo para avaliação econômica.

No Capítulo 3 é apresentado o modelo, seus conceitos, características, considerações, equações e sua verificação.

A análise dos resultados do modelo, a aplicação em um caso real e a validação da hipótese estão descritas no Capítulo 4.

Finalmente, no Capítulo 5 estão incluídas as considerações finais e sugestões para trabalhos futuros.

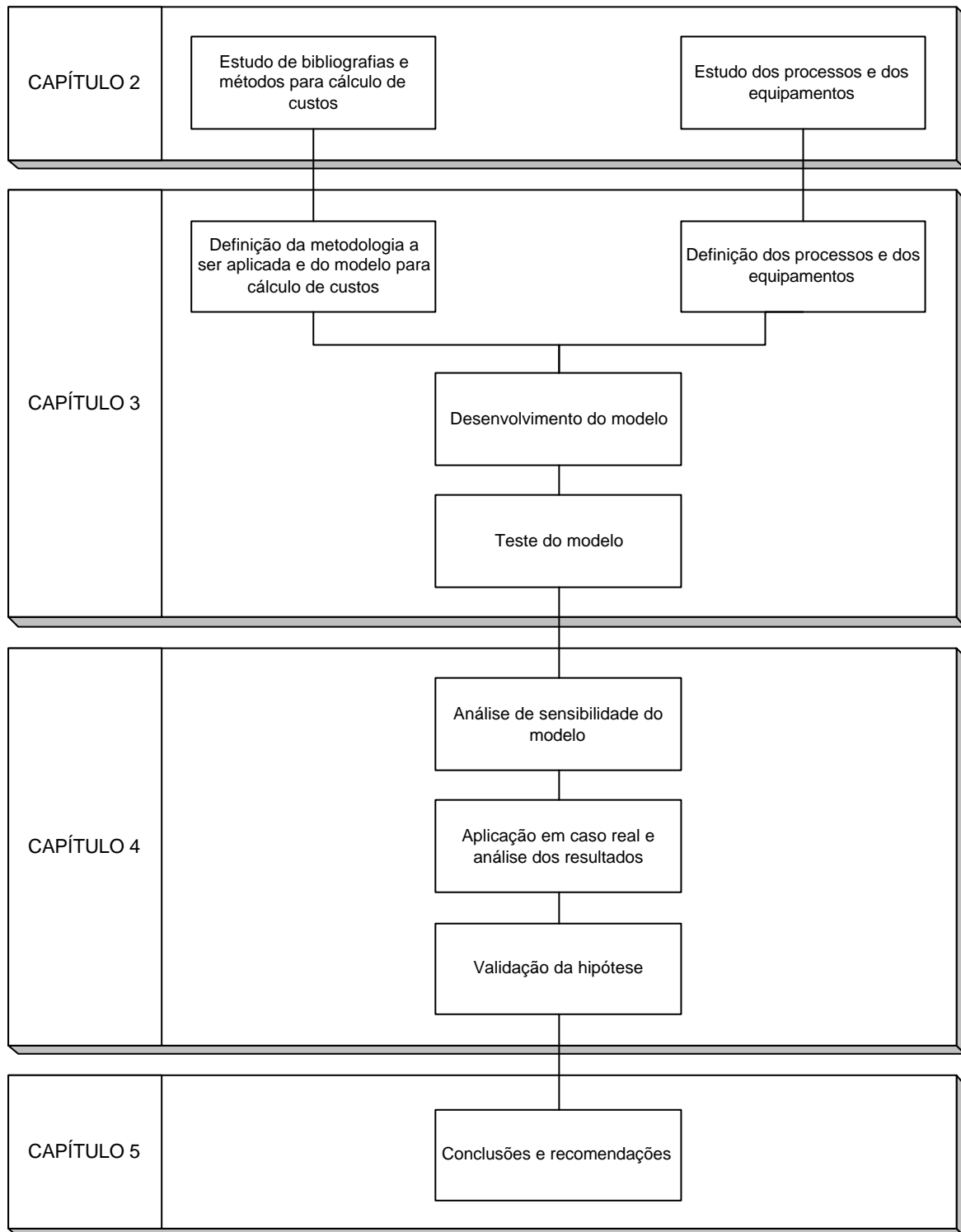


Figura 1 - Diagrama do conteúdo da dissertação.¹

¹ As Figuras e Tabelas que não contêm citação bibliográfica foram compiladas pelo mestrando.

2 SISTEMAS DE FIXAÇÃO: ALTERNATIVAS E CONSEQÜÊNCIAS

2.1 Considerações iniciais

Os sistemas de fixação são amplamente utilizados na indústria em geral, desde produtos de pequeno porte (e.g. compasso para desenhos, controle remoto) até produtos de grandes dimensões (e.g. navios, aviões, edifícios), passando por móveis, eletroeletrônicos, eletrodomésticos, veículos, e até os próprios equipamentos utilizados pelas indústrias (e.g. máquinas operatrizes, ferramentas).

Quando se analisa um sistema de fixação, observa-se que são feitos de vários materiais (e.g. plásticos, metais não-ferrosos, aços) ou suas combinações, podendo ser desmontáveis (e.g. parafusados, encaixados) ou fixos (e.g. rebitados), dependendo da necessidade do cliente (requisitos de projeto) e de decisões iniciais de projeto (conceito).

Neste trabalho estão considerados os sistemas de fixação desmontáveis, constituídos por elementos fixadores e elemento base feitos em aço, conforme Figura 2, considerando as alternativas que utilizam o processo de Furação Convencional com brocas helicoidais seguido de rebarbação com brocas para escarear Figura 2(a) e a Furação por Escoamento complementada por rosqueamento com Machos de Conformação Figura 2(b).

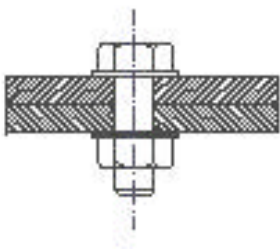
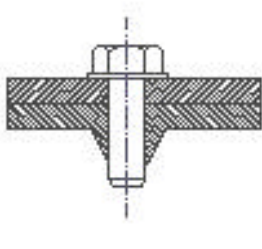
		
	(a)	(b)
	Furação Convencional	Furação por Escoamento
Elemento a ser fixado	Suporte	Suporte
Elemento fixador com rosca externa	Parafuso com rosca métrica	Parafuso com rosca métrica
Elemento fixador com rosca interna	Porca	(rosca no elemento base)
Elemento base para fixação	Chapa fina de aço	Chapa fina de aço

Figura 2 - Alternativas de sistemas de fixações desmontáveis.

A Figura 3 apresenta um resumo dos estudos realizados para este trabalho. Os quadros identificados (com profundidade em negrito) indicam o caminho percorrido e as escolhas realizadas para a criação do modelo.

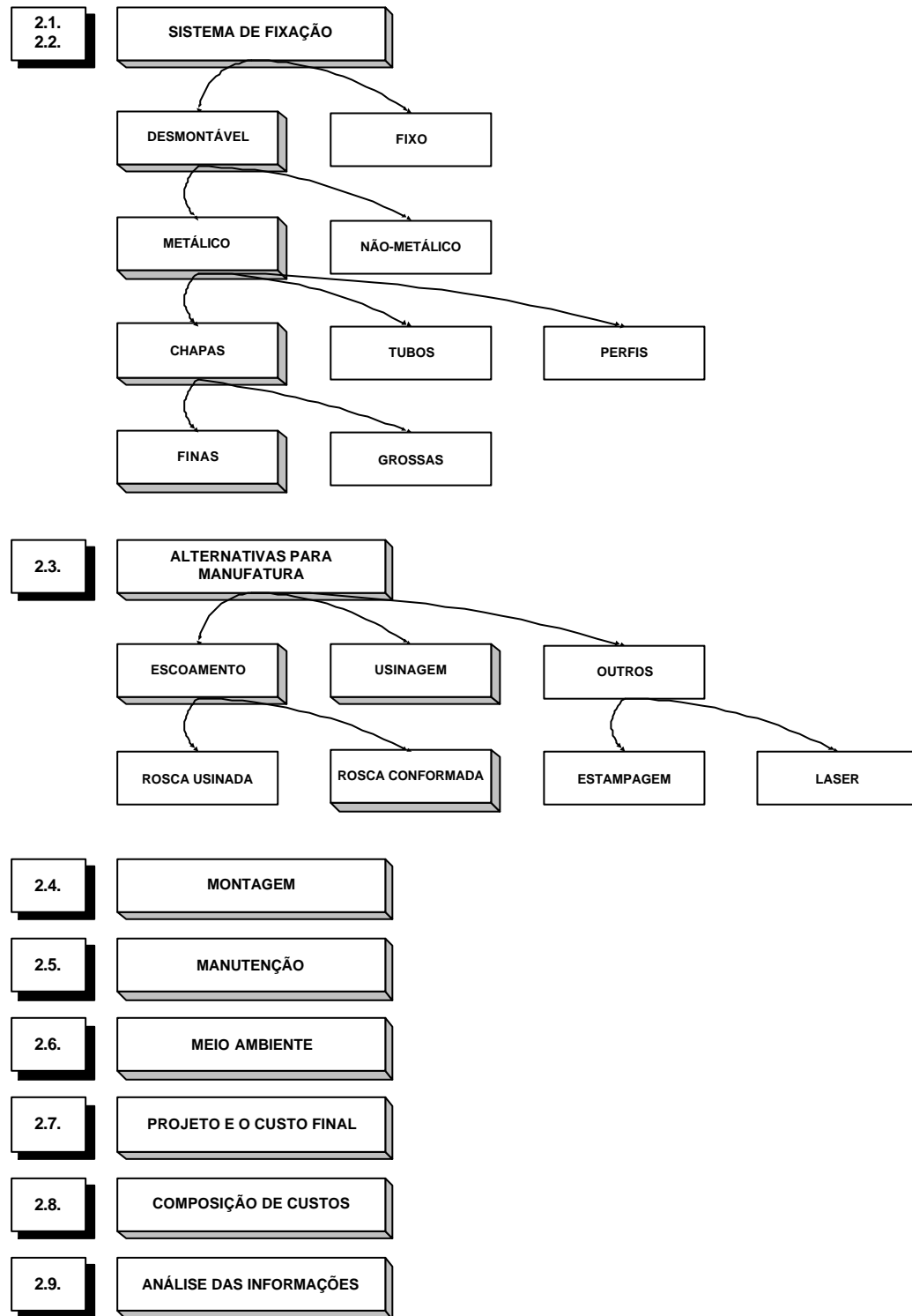


Figura 3 - Fluxograma do Capítulo 2.

2.2 Sistemas de fixação desmontáveis em peças metálicas (chapas finas)

Os elementos componentes do Sistema de Fixação são definidos pelo projetista, sendo que são compostos por pelo menos um componente de cada elemento indicado na Tabela 1.

Tabela 1 - Componentes do Sistema de Fixação.

Elemento a ser fixado	Elemento fixador com rosca externa	Elemento fixador com rosca interna	Elemento base para a fixação
Suporte Chapa Tubo outros	Parafuso	Porca Bucha Arruela Elemento base outros	Chapa

Quanto às opções de montagem das peças no conjunto do sistema de fixação desmontável em peças metálicas, várias opções podem ser utilizadas, ver Figura 4, entre as quais destacam-se:

- a) Parafuso com rosca métrica e porca, que pode ser soldada, conforme Figura 4(a), ou solta, conforme Figura 4(b);
- b) Parafuso com rosca métrica e bucha com rosca, que pode ser rebitada, conforme Figura 4(c), soldada, conforme Figura 4(d), ou escoada, conforme Figura 4(e);
- c) Parafuso com rosca soberba diretamente na chapa, conforme Figura 4(f), ou com arruelas especiais, conforme Figura 4(g).

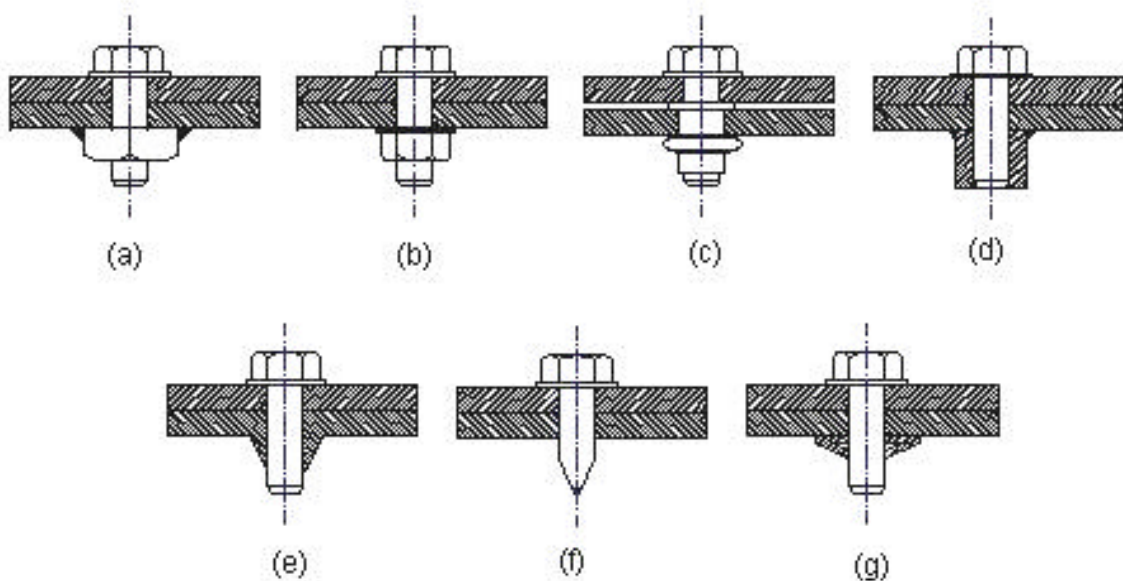


Figura 4 - Exemplos de opções para fixação de chapas.

Neste trabalho serão comparados apenas os processos que utilizam parafusos com rosca métrica, que são os utilizados neste tipo de fixação. Para a montagem e manutenção serão estudadas as ferramentas normalmente utilizadas (chaves combinadas – boca e estrela).

Em todos os casos que necessitam componentes adicionais (porcas, buchas ou arruelas), existe a possibilidade de corrosão nas interfaces das peças, maior peso do conjunto, maior quantidade de peças e suas conseqüências (desenvolvimento, aquisição e controle de qualidade de cada peça, manutenção dos equipamentos utilizados para sua manufatura e manutenção das ferramentas adicionais utilizadas para sua montagem, entre outras).

Para pequenos volumes de produção geralmente é mais econômico usar porcas e parafusos, mas para volumes maiores a utilização de roscas nas peças principais é mais econômica, (Bralla et al, 1988).

A função do sistema de fixação inclui uma série de requisitos, sendo que os principais estão sumarizadas na Figura 5, (Stark, 1977).

Este trabalho está concentrado nos requisitos não-estruturais de custo econômico.

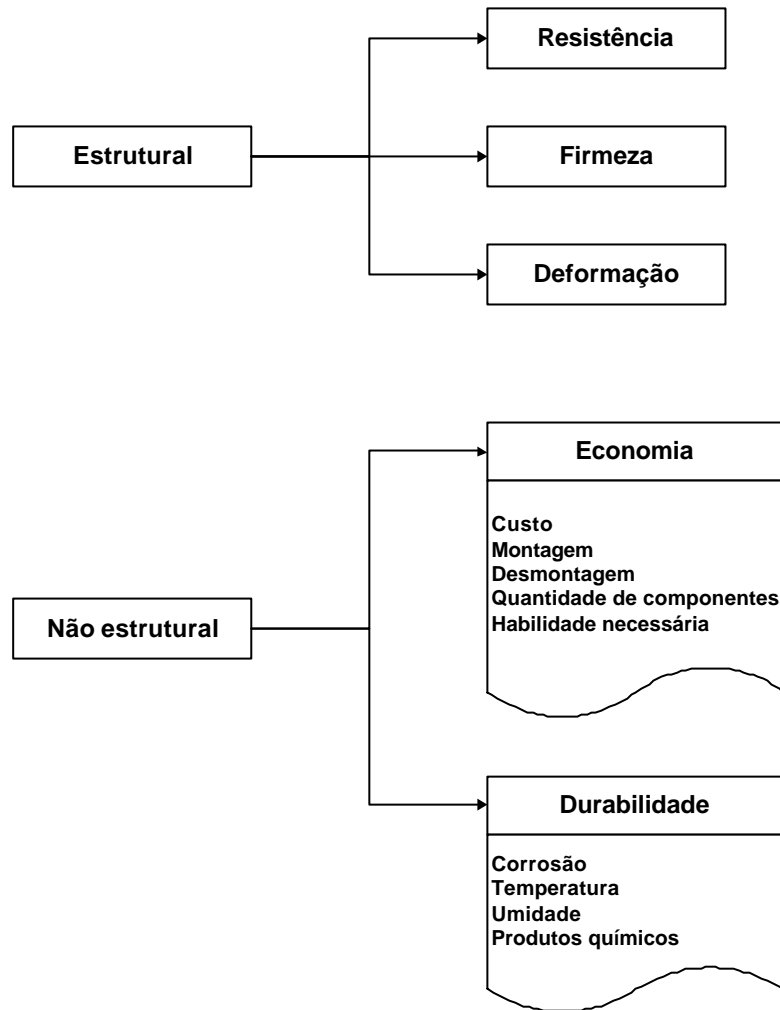


Figura 5 - Requisitos para um sistema de fixação, (Stark, 1977).

2.3 Alternativas para a manufatura

Esta etapa do trabalho contém as pesquisas realizadas para a posterior avaliação dos custos totais de alternativas para a execução de furos nas chapas do sistema de fixação.

Para a confecção de furos na peça feita em chapa, existem entre outras as seguintes possibilidades:

- a) Estampagem;
- b) Usinagem com broca;
- c) Escoamento.

A bucha estampada em chapas permite obter um comprimento de rosca de até 1,5 vezes a espessura da chapa, mas é um processo extremamente difícil de ser formulado, sendo o desenvolvimento da ferramenta feito por tentativa e erro, (Bralla et al, 1988).

A execução de furos com broca helicoidal ou por estampagem permite a confecção de rosca na própria chapa, estando o seu comprimento limitado à espessura da mesma.

No caso da furação ter sido executada pelo processo de escoamento, a confecção da rosca na bucha escoada (cujo comprimento é cerca de 3,5 vezes a espessura da chapa) pode ser feita por:

- a) Usinagem com macho de corte;
- b) Conformação com macho de conformação (também denominado laminador).

Neste trabalho, cujo objetivo principal é desenvolver metodologia e criar modelo para comparação de custos, as alternativas para a confecção dos furos escolhidas foram restritas aos processos de:

- 1) Furação Convencional com broca helicoidal seguida de remoção de rebarbas;
- 2) Furação por Escoamento complementada pelo Rosqueamento por Conformação.

2.3.1 Furação com brocas helicoidais

Na Figura 6 está representado este processo e os resultados da furação na chapa.

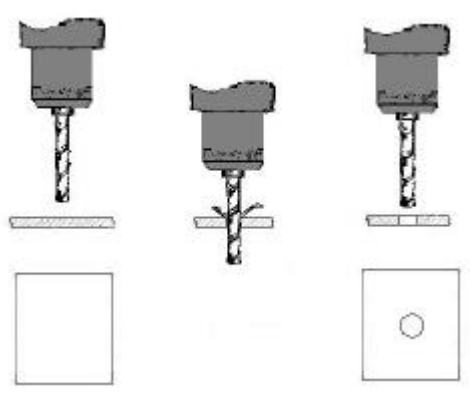


Figura 6 - Furação por usinagem (broca helicoidal).

A furação com broca é o processo de usinagem mais comum e a maneira mais fácil para fazer furos em metais, sendo um processo econômico tanto para pequenas quanto para grandes quantidades, (Doyle et al, 1962). As furadeiras são de baixo custo e versáteis, e as brocas são facilmente disponíveis, (Bralla et al, 1988). A furação representa cerca de 33% das operações de usinagem, (Santos; Silva, 2001).

O processo de furação com brocas tem sido bastante pesquisado no que se refere a novos materiais para a fabricação de brocas (e.g. metal-duro, cerâmica), geometria da broca (e.g. ângulos de ponta e de hélice), maiores velocidades de usinagem, novos fluidos (e.g. biodegradáveis) e até usinagem a seco. A Tabela 2 mostra alguns aspectos positivos e negativos de estudos desenvolvidos.

Tabela 2 - Aspectos da usinagem a seco à altas velocidades, (Santos; Silva, 2001).

	Usinagem a seco	Usinagem a altas velocidades
Saúde do operador e danos ao meio ambiente	+	-
Custos com fluidos de corte	+	-
Esforços na máquina ferramenta	+	-
Produtividade	-	+
Flexibilidade	-	+
Necessidade de processos de acabamento	-	+
Lubrificação	-	+

+ melhor

- pior

Pesquisas comparativas realizadas com brocas inteiriças de metal-duro com e sem lubrificação resultaram que a usinagem a seco aumenta a produção horária de peças, mas reduz a vida útil da ferramenta, (Miranda et al, 2001).

Estudos realizados com brocas de aço-rápido e diferentes fluidos (ar comprimido, emulsão, óleo mineral e óleo vegetal) e a seco, mostram o poder refrigerante de cada fluido, e várias alternativas de aplicação. No caso, ficou evidenciado que a utilização de emulsão aplicada por jato de vazão de 300 l/h apresenta o melhor desempenho refrigerante, (Weingaertner et al, 2001).

A refrigeração é um fator muito importante na furação por usinagem, e os fluidos servem para remover os cavacos e aumentar a vida útil da broca, (Amstead et al, 1986).

2.3.2 Furação por escoamento

Devido aos vários trabalhos (teses, dissertações, e artigos) existentes e disponíveis tratem da parte técnica do processo, aqui serão tratados os aspectos econômicos deste novo processo. No APÊNDICE A e nos ANEXO A, ANEXO B e ANEXO C encontram-se alguns detalhes relevantes sobre este processo.

A Figura 7 contém uma chapa antes e depois de ser furada, e a representação do processo.

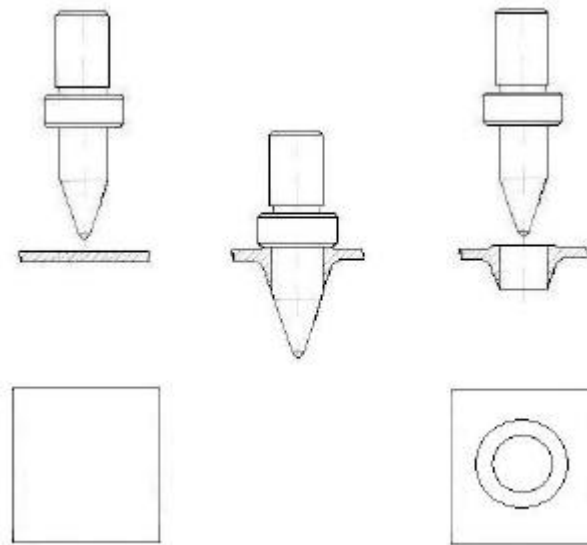


Figura 7 - Furação por escoamento.

Segundo Kretschmer (*apud Weingaertner et al, 1995b*), as principais vantagens da furação por escoamento são:

- a) Não formação de cavacos;
- b) Longa vida da ferramenta;
- c) Elevada precisão dos furos;
- d) Uso de altas velocidades, reduzindo os tempos do processo e conseqüentemente, os custos de produção.

Weingaertner *et al* (1996b) afirmam que a viabilidade econômica do processo deve levar em conta os resultados do trabalho obtidos, tais como qualidade da peça (*i.e.* precisão dimensional, forma da rebarba e região termicamente afetada),

desgaste da ferramenta, e alteração das propriedades do lubrificante durante o processo.

A furação por escoamento proporciona segundo Overy (1978).

- a) Menores custos de inspeção devido à boa precisão da bucha escoada;
- b) Custos de elementos secundários de fixação (*i.e.* porcas convencionais ou soldadas ou rebitadas) eliminados;
- c) Corrosão entre a peça e os elementos secundários de fixação eliminada;
- d) Os custos de capital situam-se entre os processos de estampagem e de furação por usinagem.

2.3.3 Rosqueamento por conformação

A Figura 8 representa o processo de rosqueamento por conformação feito em uma chapa com bucha escoada pelo processo de furação por escoamento.

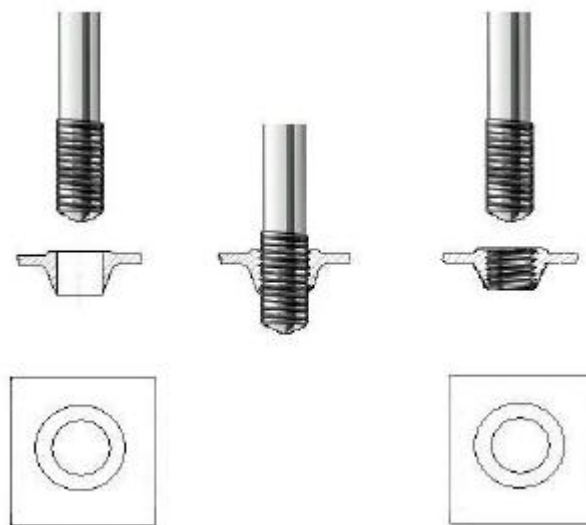


Figura 8 - Rosqueamento por conformação.

A conformação de roscas oferece várias vantagens em relação ao processo de corte de roscas com machos de usinagem convencionais, sendo que os diversos autores (Doyle *et al*, 1962), (Bralla *et al*, 1988), (DeGarmo, 1974), (Weingaertner *et*

al, 1995a), (Weingaertner et al, 1995c), (Weingaertner et al, 1997), (Amstead et al, 1986) e (Novosel, 1975), convergem para as principais:

- a) Melhor precisão e uniformidade;
- b) Melhor acabamento superficial;
- c) Maior velocidade de produção, no caso a velocidade de conformação, variando entre o dobro até o triplo da obtida no processo de corte com machos;
- d) Não há remoção de material, portanto não há geração de cavacos e nem desperdício de material;
- e) Maior resistência ao cisalhamento, à tração e à fadiga.

Outras vantagens citadas isoladamente por alguns dos autores citados são:

~~✍~~ A resistência ao desgaste é aumentada, *(Doyle et al, 1962)*;

~~✍~~ Menores custos de fabricação, *(Novosel, 1975)*;

~~✍~~ A vida do macho para conformação é superior à vida do macho para usinagem, chegando a quase o dobro, *(Novosel, 1975) e (Weingaertner et al, 1997)*;

~~✍~~ Pode-se utilizar materiais mais baratos, pois as propriedades da rosca são melhores, *(Amstead et al, 1986)*;

~~✍~~ A resistência das roscas conformadas é em geral de 20 a 50% maior que a de roscas usinadas, *(Weingaertner et al, 1997)*;

~~✍~~ Devido ao encruamento do material nos filetes da rosca, a dureza é entre 10 e 20% maior que a dureza do material base da peça, *(Weingaertner et al, 1997)*;

~~✍~~ Não há necessidade de afiação do macho de conformação, *(Weingaertner et al, 1997)*;

~~✍~~ O risco de quebra do macho de conformação é menor, *(Weingaertner et al, 1997)*.

Um fabricante recomenda velocidade de conformação de pelo menos 100% maior que a velocidade com macho de usinagem, e cita os seguintes pontos positivos deste processo, (*Flowdrill, 2000*):

- a) Fabricação sem remoção de cavacos, ausência de problemas com cavacos e corrosão em perfis estreitos. Nenhuma preocupação com a remoção de cavacos;
- b) Rosca mais resistente pela conformação dos filetes e encruamento da camada superficial da rosca;
- c) Aumento da produtividade pela maior velocidade de corte e longa vida útil da ferramenta;
- d) Exatidão da conformação da rosca, sem necessidade de dispositivos que conduzam o processo;
- e) Diminuição do risco de quebra da ferramenta;
- f) Instalação fácil em todos os sistemas de rosqueamento.

No APÊNDICE B e no ANEXO D encontram-se alguns detalhes técnicos e outros assuntos relevantes sobre o tema.

2.3.4 Outros processos

Outros processos não serão detalhados neste trabalho, por seu relativo baixo emprego nas indústrias (e.g. laser, eletro-erosão, fresamento de roscas). Entretanto, a seguir estão algumas considerações sobre a estampagem e o rosqueamento por usinagem.

2.3.4.1 Furação por estampagem

A Figura 9 apresenta o processo de estampagem de um furo em chapa.

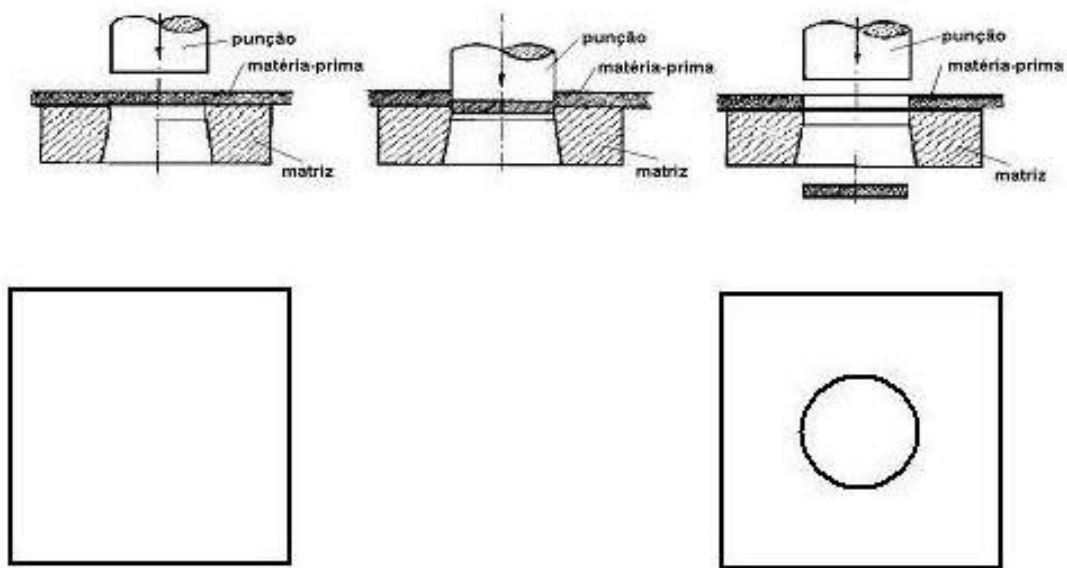


Figura 9 - Furacão por estampagem.

A matriz para estampagem é exclusiva para uma peça, não sendo possível a utilização para outras operações, (Bralla et al, 1988).

O processo de fabricação por estampagem é apropriado preferencialmente para grandes séries de produção, obtendo-se entre outras, as seguintes vantagens, (Yoshida, 1979):

- a) Alta produção, que dependendo da peça pode oscilar entre 400 a 50.000 peças por hora;
- b) Reduzido custo por peça em comparação ao processo de usinagem com ferramenta de corte;
- c) Bom acabamento das peças;
- d) Maior resistência das peças em comparação às obtidas por usinagem com ferramenta de corte, pois nesta são cortadas as fibras de laminação do metal.

O maior inconveniente da estampagem é o elevado custo das ferramentas, que são de grande precisão e exclusivas para cada forma de peça.

2.3.4.2 Rosqueamento por usinagem

A Figura 10 mostra o processo de rosqueamento com macho de corte em uma chapa furada por escoamento.

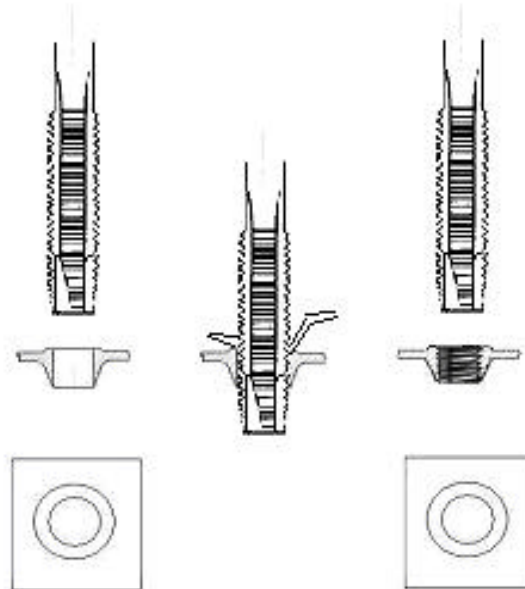


Figura 10 - Rosqueamento por usinagem (macho de corte).

Os machos de usinagem operam em condições muito severas, devido à elevada fricção e à dificuldade de remoção do cavaco, (DeGarmo, 1974).

2.4 Montagem

O processo de montagem compreende a colocação e a fixação de peças em um conjunto ou produto final. A melhor montagem é a que utiliza menos peças, (Bralla et al, 1988). Nas indústrias a montagem manual representa entre 40 e 60% do tempo total de produção, (Andreasen et al, 1988). A alternativa de Furação por Escoamento seguida de Rosqueamento por Conformação elimina a necessidade da porca no sistema de fixação.

Uma das recomendações para projeto de sistemas de fixação é que as peças mantenham-se em suas posições após sua inserção, (Boothroyd et al, 1994). No caso da utilização de porcas soltas isto não acontece, pois é necessária a utilização de ferramenta (chave ou outro dispositivo) para segurar a porca até seu aperto final.

O tempo para a montagem de produtos depende de vários fatores que afetam o manuseio das peças e ferramentas utilizadas. Entre os fatores que aumentam o tempo de montagem estão: i) necessidade de utilizar duas mãos para a montagem; ii) necessidade de ferramentas; e iii) dificuldade de visão dos componentes sendo montados, (*Boothroyd et al, 1994*). No caso da montagem com porca solta conforme mostrado na Figura 4(b), o operador precisará utilizar as duas mãos durante todo processo de aperto dos parafusos, sendo que a porca encontra-se no lado oposto da peça, o que dificulta ou até mesmo impossibilita a visão. Também, há necessidade de utilizar ferramenta adicional para manter a porca parada durante o aperto do parafuso.

As melhorias mais radicais dos processos de montagem são definidas na fase de projeto do produto, quando se opta por eliminar ou simplificar algumas peças ou montagens, sendo que um produto deve ser projetado para fácil montagem (*DFeA – Design For EASY Assembly*), devendo seguir algumas recomendações, (*Andreasen et al, 1988*):

- 1) Princípios Gerais de um produto que freqüentemente melhoram a qualidade (em toda a sua abrangência) e a montagem: projeto SIMPLES (poucas peças, montagem simples e em poucas etapas) e projeto LIMPO (que proporcione liberdade e visibilidade para a montagem);
- 2) A Composição Estrutural do produto deve ser: INTEGRADA (poucas peças e montagens, peças maiores e fáceis de manusear) e DIFERENCIADA (peças mais leves e em menor quantidade); e
- 3) Os Sistemas de Fixação devem: evitar montagens (tendendo a custo zero), evitar peças separadas (principalmente peças pequenas) e utilizar métodos de produção integrados (peças fabricadas com formatos que substituam peças adicionais para sua fixação).

De acordo com *Boothroyd et al (1994)*, os dois principais fatores que influenciam o custo de montagem são:

- a) A quantidade de peças do produto;
- b) A facilidade de manusear, montar e fixar as peças.

A quantidade e a variedade de peças afeta o custo de montagem de um produto, assim como há necessidade de maior quantidade de ferramentas para sua montagem e manutenção, (Michaels; Wood, 1989).

2.5 Manutenção pelo cliente final

O processo de manutenção realizado pelo cliente final do produto (sistema de fixação) é bastante similar ao processo de montagem, assim como as ferramentas utilizadas e as dificuldades operacionais. Portanto, as citações e considerações apresentadas na seção 2.4 também são válidas.

2.6 Meio ambiente

Dentro dos processos de usinagem, os fluidos de corte estão entre os principais agentes nocivos ao homem e ao meio ambiente (incluindo o manuseio e o descarte). O contato prolongado com os fluidos de corte e seus subprodutos pode causar doenças de pele, alguns tipos de câncer, e doenças pulmonares. Ao serem descartados (após sua deterioração), estes produtos provocam ainda algum tipo de agressão ao meio ambiente, conforme exposto na Tabela 3, (Dias et al, 2001).

Tabela 3 - Principais riscos ambientais dos fluidos de corte (uso, manuseio e descarte), (Dias et al, 2001).

Atividade	Aspectos Ambientais	Impacto no Ambiente
Armazenagem	Vazamento de resíduos líquidos	Poluição do solo e água.
Preparação do fluido de corte (emulsão)	Contato com a pele do operador e inalação de vapores	Doenças respiratórias e de pele.
Etapas do sistema produtivo	Respingos e contato com a pele do operador, vazamentos para rede de esgoto, formação de névoa e vapores, formação de lamas de retificação	Irritações na pele (dermatites e eczemas) do operador, e doenças respiratórias. Contaminação do solo e de rios.
Armazenagem, transporte e descarte de cavacos como sucata para fundição	Vazamentos de fluidos de corte em terrenos e estradas, emissões de gases tóxicos na atmosfera	Contaminação de rios, do solo e do ar atmosférico.
Armazenagem de resíduos de fluido de corte	Vazamento de resíduos para o meio ambiente	Contaminação de rios e solo.

Custos elevados de disposição final e tratamento de fluidos de corte servem de estímulo para que os usuários lancem os resíduos em rios, lagos e terrenos baldios, comprometendo a água e o solo, (Dias et al, 2001).

Devido aos inúmeros riscos de problemas ambientais gerados, deve-se estimular o desenvolvimento de novas tecnologias de usinagem que necessitem menor quantidade de fluido de corte ou nenhum fluido, o que reduz o impacto ambiental e os custos de manufatura, (Dias et al, 2001).

Outros efeitos nocivos dos resíduos industriais foram estudados por pesquisadores, entre os quais estão os materiais apresentados na Tabela 4, (Vale, 1975):

Tabela 4 - Materiais poluentes e efeitos nocivos das águas residuárias industriais, (Vale, 1975).

Grupo de matérias	Exemplos	Efeito nocivo geral	Efeito fisiológico	Efeito sobre a construção em concreto
Metais	Cobre Níquel Ferro Chumbo	Depósitos de lamas consecutivos a reações; obstrução de tubulações.	Fortemente bactericida; a decomposição biológica nas instalações de decantação é entravada. Consumo elevado de O ₂	Sublimante e destrutivo sob forma de sulfatos.
Óleos e gorduras vegetais	-	Perigo de obstrução nas tubulações; formação de gases explosivos; mal odor e perigo para os trabalhadores de esgotos.	A alimentação de O ₂ é entravada; perturbação do processo de decomposição biológico; mau gosto; bactericida em concentrações elevadas.	Efeito amolecedor.
Óleos minerais, Alcatrão e Solventes	Óleos para máquinas Alcatrão Álcoois Nitrocarbonetos clorados Benzinas	-	Formação de gases tóxicos. Impedimento de putrefação.	Efeito amolecedor.
Detergentes	-	Formação de espuma; efeito emulgante sobre as gorduras, óleos e outras matérias poluentes.	Parcialmente bactericidas e efeito tóxico sobre os peixes.	-

2.7 O projeto e o custo final de um produto

Na fase de Projeto define-se a estrutura do produto, os métodos de montagem, as quantidades de peças, os detalhes, os materiais e as tolerâncias das peças, entre outros. Assim, o processo de montagem é estabelecido basicamente nesta fase por um projetista que, geralmente, não domina processos de montagem e preocupa-se principalmente em atender as funções do produto e terminar o projeto o mais rápido possível deixando o processo de montagem em segundo plano. O projetista de um produto não deve simplesmente assegurar que este cumpra sua função, mas também deve se preocupar com, (*Andreasen et al, 1988*):

- a) Os processos para a produção das peças;
- b) Os processos para a montagem das peças no produto final.

O projetista é responsável em fazer um projeto que atenda todos os objetivos: função, durabilidade, aparência e custo. Porém, deve considerar as condições de fabricação, pois estas afetam os custos de produção, que são vitais. Entre os princípios para a produção econômica está a simplicidade, ou seja, a utilização de menor quantidade de peças e a menor quantidade de montagens geram menor custo de produção, e adicionalmente o projeto será mais confiável e de manutenção mais fácil. O projetista deve procurar reduzir a quantidade de peças, incorporando saliências, anéis, olhais, ressaltos, relevos ou roscas nas peças maiores, (*Bralla et al, 1988*).

A maior parte do custo final de um produto (entre 60 e 80%) é definida durante a fase inicial de projeto do produto. Conseqüentemente, após a definição do projeto, as oportunidades de redução de custo são reduzidas, portanto neste momento está o maior potencial para reduzir os custos, (*Weustink et al, 2000*) (*Rehman; Guenov, 1998*) (*Walker, 1993*) (*Boothroyd et al, 1994*) (*Andreasen et al, 1988*).

A General Electric cita que cerca de 75% dos custos de manufatura são determinados durante o projeto de um produto, sendo que nos casos em que o custo de material representa entre 65 e 80% do custo do produto, a fase de projeto pode influenciar 90% ou mais no custo final de manufatura, (*Daetz, 1987*).

O custo de material representa aproximadamente 50% do custo total de um produto, (*Weustink et al, 2000*) (*Boothroyd et al, 1994*).

Estudos sobre os efeitos do projeto do produto em seu custo final mostram que, (Daetz, 1987):

- a) O custo de montagem é proporcional à quantidade de peças a serem montadas;
- b) O custo de material pode geralmente ser reduzido com a redução da quantidade de peças;
- c) O custo para a manutenção de uma peça na indústria representa entre 500 e 2500 dólares americanos por ano, sem considerar o custo da própria peça.

Durante a fase de projeto deve-se maximizar a simplicidade do projeto e dos processos, e deve-se minimizar a quantidade e variedade de peças e seu sucateamento. Cerca de 55% do material de chapas metálicas são sucateados durante o processo de fabricação, existindo um grande potencial de reduzir custos durante a fase de projeto ao prever a utilização máxima do material de chapas, (Michaels; Wood, 1989).

O projetista deve ter em mente que os custos de inventário (manuseio, estoque e suprimento) fazem parte do custo final do produto, (Michaels; Wood, 1989).

A usinagem é caracterizada pela remoção de material, o que indica claramente que é um processo que causa desperdício, portanto os engenheiros do projeto devem projetar peças que não necessitem de usinagem, (Boothroyd et al, 1994). O mesmo raciocínio se aplica ao processo de estampagem de furos, onde o material removido da peça é também um resíduo. Em ambos os casos, o custo da peça é formado por toda a matéria-prima utilizada (incluindo o material removido por estampagem ou por usinagem) e o custo de fabricação dos furos.

Os custos com fluidos de corte representam entre 6 a 17% dos custos totais da manufatura de peças. Portanto, sua eliminação ou pelo menos sua redução são excelentes oportunidade para reduzir custos de manufatura, (Miranda et al, 2001) (Santos; Silva, 2001).

Na Figura 11 estão mostrados os impactos do projeto no custo do produto, sendo que algumas das principais ações a serem tomadas durante a fase de projeto para se obter custos competitivos são, (Daetz, 1987):

- a) Simplicidade de montagem;

- b) Reduzida quantidade de peças;
- c) Menor quantidade de peças diferentes;
- d) Menor quantidade de fornecedores.

CUSTO PROJETO	Material direto	Mão de obra para montagem	Engenharia de materiais	Compras	Programação de materiais	Engenharia de manufatura	Área/Equipam. de estocagem	Fretes e taxas	Admin./Manuseio de estoque	Estação de trabalho	Ferramentas para montagem	Tempo improdutivo	Depreciação	Treinamento	Testes	Nível de defeitos	Obsolescência	Gerenciamento
	Quantidade de peças	✗	✗	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	✗	□	□
Variedade de peças	□	□	✗	✗	✗	✗	□	□	✗	✗	✗	✗	□	□	✗	✗	✗	□
% de peças padronizadas	✗	□	✗	□	□	✗	□	□	□	✗	✗	✗	□	□	✗	✗	✗	□
Quantidade de fornecedores	□	□	✗	✗	□	□	✗	□	□	✗	□	□	□	✗	✗	□	✗	✗
Facilidade de montagem	□	✗	□	□	✗	✗	✗	□	□	✗	✗	□	□	✗	□	✗	□	✗
Tecnologia de processos	□	□	✗	□	✗	✗	✗	□	□	✗	✗	✗	✗	✗	□	✗	✗	✗
Alterações de programação	✗	□	✗	□	✗	✗	✗	✗	✗	✗	□	✗	□	□	□	□	✗	✗
Tolerâncias de Engenharia	✗	□	✗	□	□	□	□	□	□	✗	✗	✗	□	✗	✗	✗	✗	✗
Alterações de projeto	✗	✗	✗	✗	✗	✗	□	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗

□ => médio impacto
 ✗ => elevado impacto

Figura 11 - Efeitos do projeto no custo do produto, (Daetz, 1987).

A redução de custo resultante da eliminação de uma peça não é representada apenas pelo seu próprio custo e pelo tempo de montagem. Existem outros benefícios de difícil mensuração que resultam em redução de custo adicional. Entre estes estão: i) eliminação da documentação da peça (e.g. desenhos, relatórios de aprovação e qualidade); ii) uma peça eliminada não pode ser montada

erroneamente e nem apresentar falhas, facilitando a manutenção e melhorando a confiabilidade e a qualidade, (Boothroyd et al, 1994).

2.8 Composição de custos

Para a indústria, o custo de um produto é resultante da transformação de matéria-prima em componentes, ou seja, envolve os custos de aquisição e estocagem de matéria-prima ou sub-componentes (incluindo o custo de cada peça, a logística de transporte, a área necessária, as embalagens e o manuseio), os custos de manufatura (*i.e.* máquinas operatrizes, ferramentas, equipamentos, operadores e energia, entre outros) e os custos da montagem nos produtos finais (*i.e.* operadores, ferramentas e equipamentos, entre outros).

O cliente, após adquirir o produto final, também terá custos de manutenção durante a vida útil do bem adquirido. Estes custos envolvem a aquisição de peças, ferramentas, logística, manuseio e estocagem de peças, tempo gasto para a manutenção, entre outros.

Portanto, não se deve analisar o custo de apenas um componente para a decisão sobre sua utilização ou não, e sim deve-se avaliar o custo total do produto, e quando necessário ou possível, avaliar seus efeitos junto ao cliente final do produto.

Existem inúmeras maneiras de classificar os custos. Neste trabalho os custos estão classificados de acordo com as necessidades para a compreensão, medição e comparação das alternativas definidas para os processos e experimentos a serem realizados. Para outras finalidades podem ser utilizados outros critérios.

A composição de custos de um produto pode ser feita de várias maneiras diferentes, a divisão apresentada na Tabela 5 contempla os diversos custos que ocorrem em uma indústria e é a base para os estudos deste trabalho.

Tabela 5 - Composição de custos, (Casarotto Filho; Kopittke, 2000).

INVESTIMENTOS	Equipamentos		Máquinas, móveis
	Instalações		Área
OPERACIONAIS	Produção	Diretos	Matéria-prima Embalagens Materiais auxiliares (graxas, lubrificantes, solventes) Fretes Mão-de-obra direta (com encargos) Consumo de energia elétrica
		Indiretos	Mão-de-obra indireta (manutenção, laboratórios, almoxarifado, limpeza, administração e chefes da produção) Manutenção (materiais, peças de reposição) Seguros (prédios, instalações, equipamentos) Demanda de energia elétrica (custo fixo da demanda instalada) Aluguel / arrendamento (prédios, equipamentos industriais)
	Despesas gerais	Variáveis	Impostos Despesas com vendas Despesas financeiras operacionais
		Fixas	Despesas administrativas (diretores, gerentes, funcionários, xerox, fone) Impostos municipais (IPTU, taxas)

A gestão de custos está além das técnicas tradicionais de contabilidade, podendo ser analisados como Custo Contábil e Custo Gerencial. O Custo Contábil está disciplinado por normas legais, fiscais e societárias, e o Custo Gerencial não está necessariamente vinculado a estas, e seu objetivo é em geral a redução de gastos, através de estudos e análises voltados para as mudanças de processos.

As técnicas para apuração de custos, sejam contábeis ou gerenciais, são aplicáveis em todos os negócios, principalmente para planejar, administrar e controlar as atividades econômicas resultantes de cada negócio, seja industrial, comercial ou de prestação de serviços.

Na indústria os gastos com o sistema de produção são conhecidos como custos industriais, que são decorrentes da soma dos componentes de matéria-prima,

mão-de-obra e custos indiretos de fabricação. Entre estes custos chamados indiretos, encontram-se os custos de depreciação, manutenção e seguros dos equipamentos, instalações e construções utilizados nos processos.

Os custos de manutenção e seguros são definidos respectivamente pelas indústrias e pelas seguradoras, já os custos de depreciação são decorrentes da idade, do desgaste com o funcionamento, da obsolescência funcional e econômica dos bens, ou seja, é um fenômeno natural que ocorre com o bem, (Moreira, 1997) e (Franco, 1990).

A finalidade da depreciação é proporcionar às empresas os meios necessários para a reposição dos equipamentos, instalações e construções, existindo vários métodos de cálculos, entre os quais os mais conhecidos são (Moreira, 1997):

- ?? Método do Bom Como Novo (*Good-as-New Depreciation Assumption*);
- ?? Método da Avaliação Direta (*Direct Approach Method*);
- ?? Método da Importância Global Arbitrária (*Arbitrary Lump Sum Method*);
- ?? Método da Depreciação como Porcentagem da Renda Bruta (*Depreciation as a Percentage of Revenue*);
- ?? Método da Soma dos Dígitos (*Sum of Digits Method*);
- ?? Método da Linha Reta (*Straight Line Depreciation Method*);
- ?? Método de George Kuentzle;
- ?? Método de Ross;
- ?? Método de Heidecke (critério);
- ?? Método Combinado de Ross-Heidecke;
- ?? Método da Idade-Vida Útil;
- ?? Método do Fundo de Amortização (*Sinking Fund Depreciation Method*), e
- ?? Método da Depreciação do Valor Atual (*Present Worth Depreciation Principle*).

Dentre todos estes, o Método da Linha Reta é o mais simples de ser aplicado e o mais difundido. Sendo extensamente utilizado por contabilistas das empresas, pela

Secretaria da Receita Federal e por outras agências governamentais. Este é o método considerado neste trabalho.

Este método considera uma parcela uniforme de depreciação a cada ano durante a vida útil do bem e, assim, a sua representação gráfica é uma reta. A Tabela 6 apresenta os valores de vida útil do bem para efeitos de depreciação.

Tabela 6 - Valores de vida útil para depreciação, (Receita Federal, 2003).

Classificação dos tipos de Bens	Vida útil (anos)
Máquinas e equipamentos	10
Móveis e utensílios	10
Prédios e galpões	25
Embalagens	5
Ferramentas	5
Instalações	10

2.9 Análise das informações coletadas

As citações encontradas na bibliografia e as pesquisas publicadas indicam que os processos de furação por escoamento, em conjunto com o rosqueamento por conformação, são alternativas a serem consideradas durante a fase de projeto de um produto, pois possuem indicações muito promissoras para se conseguir redução nos custos do produto.

Com base nos registros encontrados, observa-se que é praticamente unânime entre os pesquisadores a afirmação de que o processo de furação por escoamento aliado ao rosqueamento por conformação deve contribuir com vários aspectos muito importantes na atualidade, conforme Tabela 7.

Tabela 7 - Resumo das citações e influências nos resultados em cada alternativa.

Citação bibliográfica	Furação convencional	Furação por escoamento	Rosqueamento por Conformação
Pequenos volumes (porcas e parafusos)	+		
Grandes volumes (rosca na peça principal)		+	+
Disponibilidade de ferramentas	+		
Custo de equipamentos (furadeiras)	+		
Vida da ferramenta		+	+
Precisão dos furos / roscas		+	+
Formação de Cavacos		+	+
Custos de elementos secundários (porcas)		+	+
Corrosão entre elementos		+	+
Resistência ao desgaste da rosca			+
Tempo de processo (manufatura)		+	+
Necessidade de afiação de ferramenta		+	+
Processo de montagem / manutenção (incluindo tempo, quantidade de peças, visibilidade)			+
Quantidade de ferramentas			+
Custo de montagem / manutenção			+
Danos ao meio ambiente e à saúde		+	+
Quantidade de fluido de corte e similares		+	+
Custos finais dos fluidos de corte e similares		+	+

+ Melhor / vantagem

Nas diversas publicações pesquisadas, não existem estudos econômicos sobre os custos dos processos convencionais de manufatura e do processo alternativo proposto (furação por escoamento e rosqueamento por conformação), bem como suas conseqüências nas etapas de montagem e manutenção.

Conforme a bibliografia apresentada, a parte técnica dos diferentes processos de manufatura é conhecida e mostra potencialidade de aplicação com bons resultados de redução de custos. Entretanto, não existe bibliografia relacionada com a estimativa de custos entre processos nas fases iniciais do projeto. Assim, o Capítulo 3 traz uma proposta que visa aproveitar esta oportunidade, mostrando um método para realizar comparativo de custos entre dois processos e indicar o mais interessante sob o ponto de vista financeiro.

3 PROPOSTA DE MODELO PARA A AVALIAÇÃO ECONÔMICA COMPARATIVA ENTRE ALTERNATIVAS DE SISTEMAS DE FIXAÇÃO

3.1 Considerações iniciais

A inexistência de modelo de avaliação econômica comparativa que contemple as diversas fases de aquisição e estocagem, manufatura, montagem e manutenção de sistemas de fixação desmontáveis, e de ferramentas que auxiliem o projetista a decidir na fase inicial de projeto a melhor opção sob o ponto de vista econômico, é o ponto de partida para esta investigação.

A falta de um modelo pode ser fruto da cadeia produtiva encontrada na indústria, onde cada participante contribui com uma fase do processo completo e, portanto, acompanha os custos sob sua responsabilidade. Outra constatação é que as pequenas empresas não possuem acompanhamentos detalhados de cada processo específico, utilizando médias anuais para a formação dos custos.

Conforme exposto na seção 2.7, o projetista ao decidir sobre um sistema de fixação, normalmente o faz com base em seus conhecimentos ou outro sistema de fixação similar existente no produto final, e sua preocupação restringe-se à parte técnica, ou até à padronização de peças, mas raramente tem a preocupação com custos. Quando esta existe, limita-se a buscar soluções mais baratas, fundamentado basicamente no custo das peças que compõe o sistema de fixação, e não no custo final resultante de sua decisão.

As soluções sob o ponto de vista técnico são bem conhecidas e divulgadas, sendo de domínio por parte do projetista. Entretanto, não existem modelos capazes de capturar as implicações financeiras decorrentes da escolha e especificação de sistemas de fixação na indústria.

A Figura 12 contém um diagrama que ilustra a necessidade de um método que contemple as considerações econômicas neste processo de tomada de decisão.

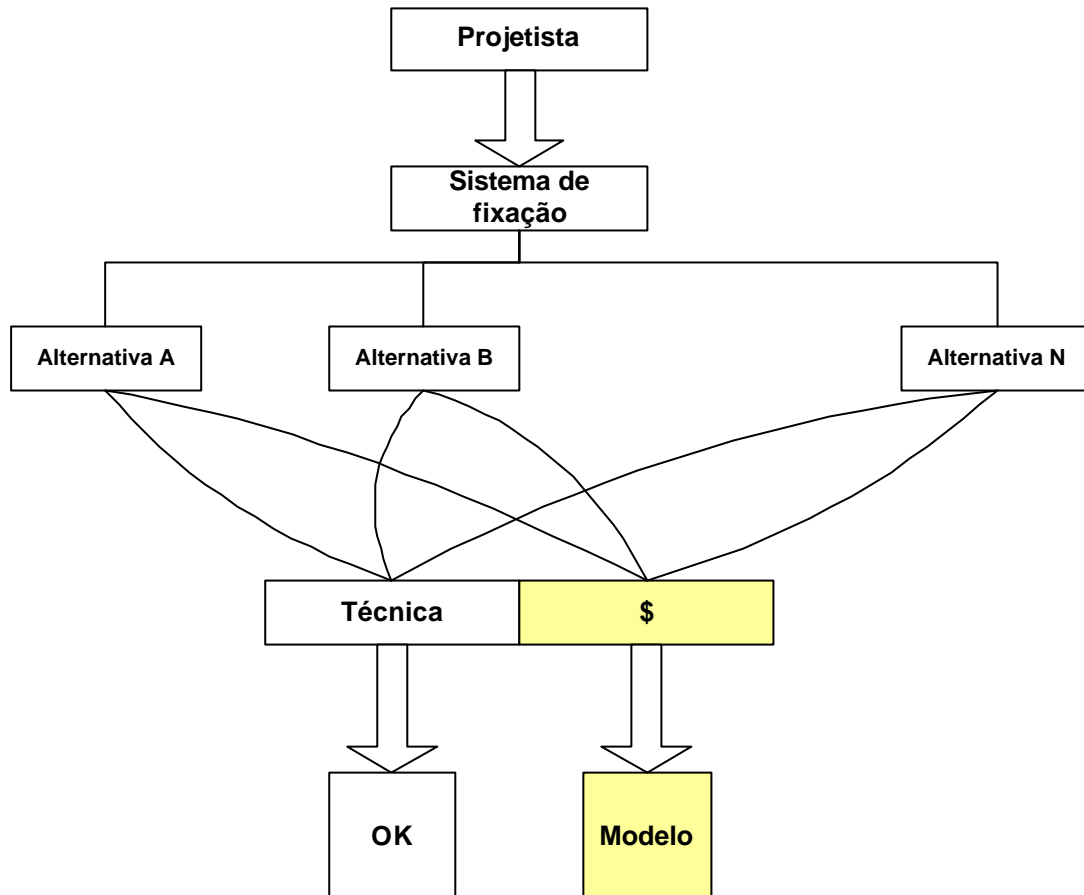


Figura 12 - A solução técnica e a proposta do modelo.

Conforme indicado na Figura 13, existem três grandes áreas que necessitam serem integradas no modelo, visando proporcionar ao projetista a solução mais econômica:

- a) Compras e Materiais;
- b) Industrial;
- c) Cliente.

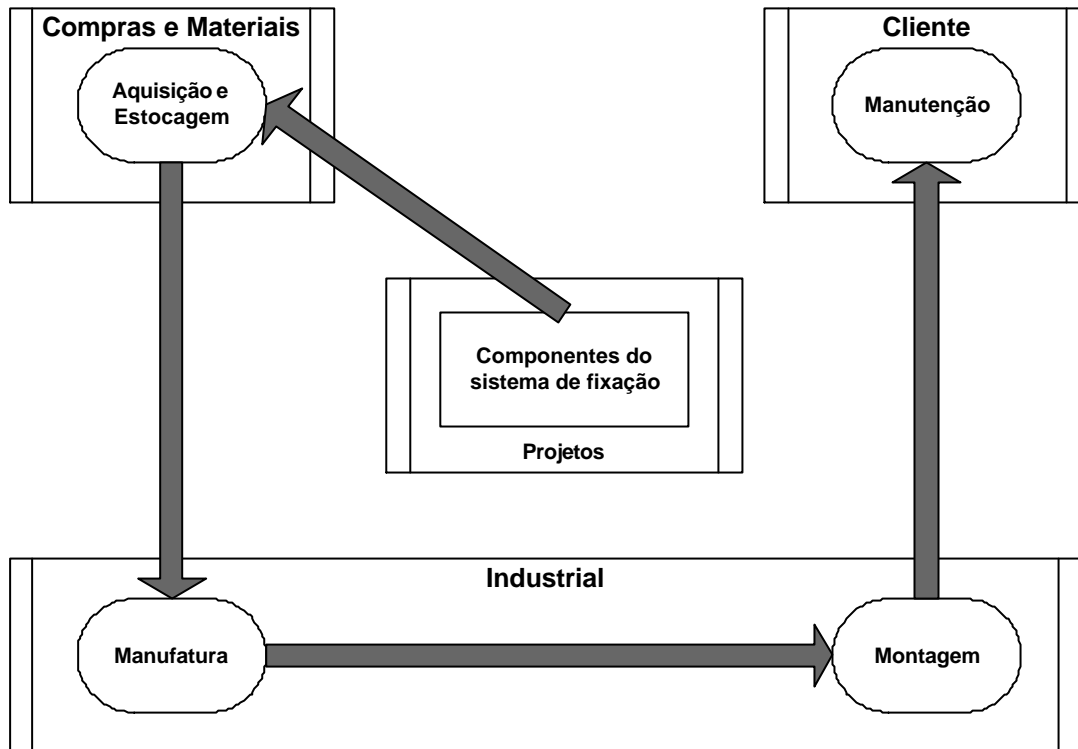


Figura 13 - Interação entre as áreas.

O modelo proposto neste trabalho visa preencher esta lacuna, e deve servir de ferramenta para o projetista decidir entre alternativas de sistemas de fixação desmontáveis avaliando os custos: i) de aquisição e estocagem dos elementos; ii) de manufatura dos elementos; iii) de montagem; e iv) de manutenção a ser realizada pelo cliente final do produto, ou seja, analisar os custos de uma forma mais ampla. A Figura 14 ilustra este conceito, que será utilizado para comparar os dois processos conforme definido no Capítulo 1, e que são apresentados na seção 2.3 (furação por escoamento seguida de rosqueamento por conformação e a furação convencional feita com brocas helicoidais seguida de Rebarbação).

Desta forma, para cada uma das fases mencionadas, i) aquisição e estocagem; ii) manufatura; iii) montagem; e iv) manutenção, serão apurados os custos e analisadas as diferenças resultantes entre os dois processos, que irão compor o resultado do modelo.

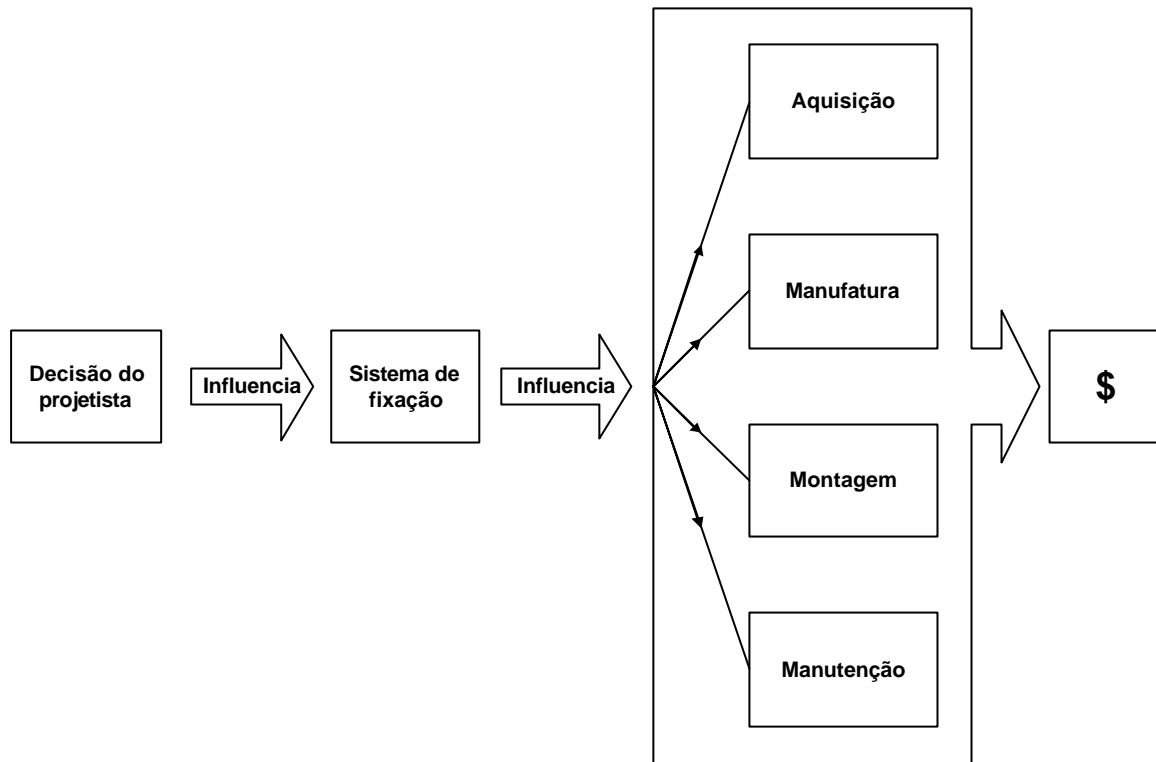


Figura 14 - Fases do ciclo de vida do produto consideradas para a definição do modelo.

O modelo proposto deve capturar as conseqüências das opções iniciais disponíveis ao projetista em cada fase, sob o ponto de vista financeiro, conforme Figura 15, que mostra o modelo **Pro-Comp**² de maneira abrangente.

² Pro-Comp é o nome dado pelo autor ao modelo em estudo, pode ser entendido como Processos Alternativos- Comparação.

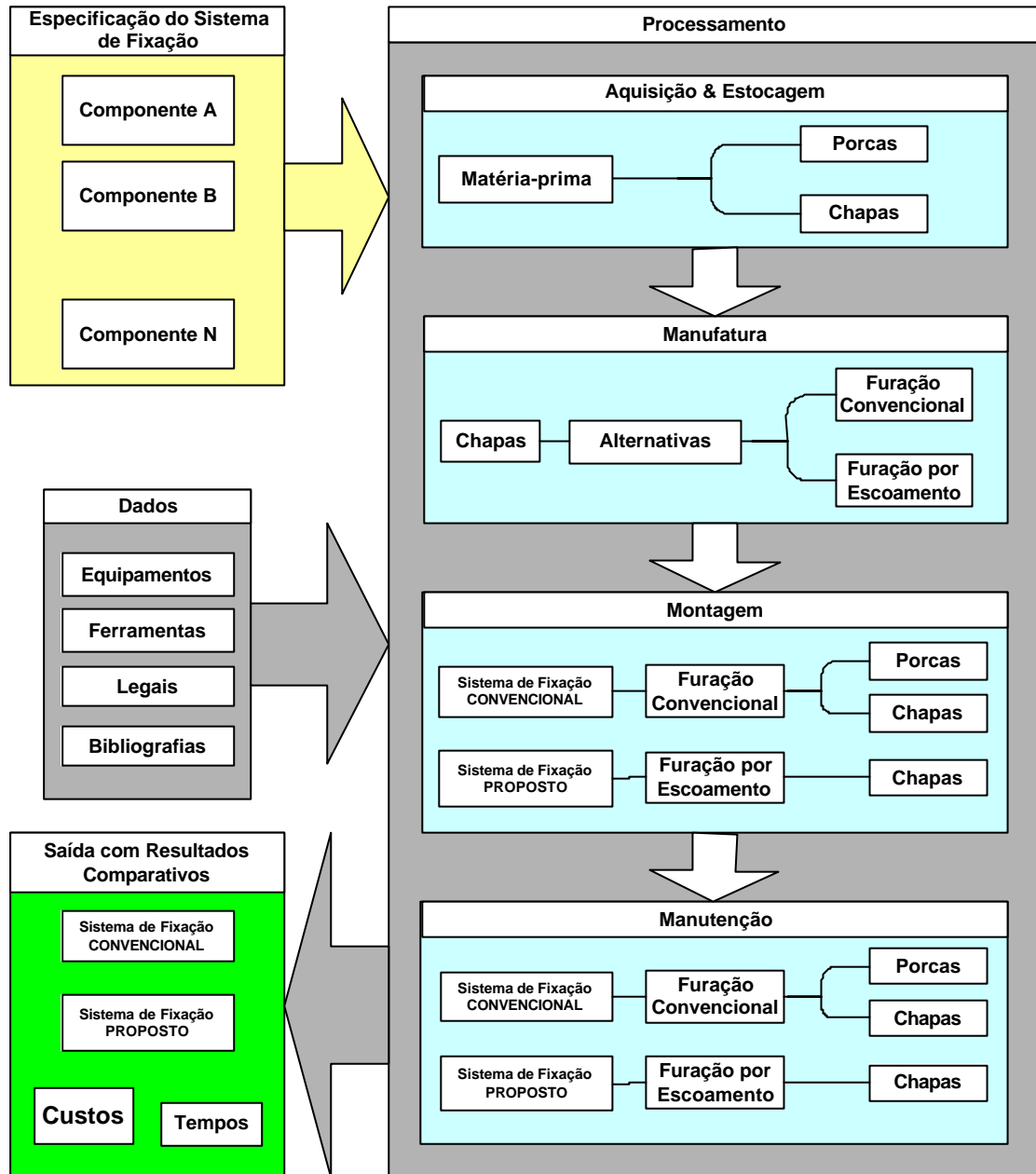


Figura 15 - Modelo Pro-Comp.³

As alternativas consideradas no Pro-Comp são as que possuem processos de Manufatura por furação convencional (*i.e.* brocas helicoidais) e a furação por escoamento com rosca conformada, incluindo as conseqüências nas demais fases de: Aquisição e Estocagem, Montagem e Manutenção (pelo cliente final), consideradas as mais representativas em termos de custo do produto final.

³ O Modelo Pro-Comp só considera as diferenças existentes entre as alternativas escolhidas, assim, os parafusos e demais componentes do sistema de fixação não estão incluídos por serem idênticos em ambos os casos.

A definição de estudar três fases industriais do ciclo de vida de um produto (Aquisição e Estocagem, Manufatura e Montagem) surgiu em razão de que estas têm maior influência no custo do produto final, conforme citações na seção 2.7, sendo que a quarta fase estudada (Manutenção), refere-se ao cliente, que nem sempre está satisfeito ou disposto a pagar elevados custos para a manutenção necessária durante a vida do produto adquirido.

Os resultados comparativos finais destas quatro fases vão gerar informações que devem orientar o projetista a escolher o melhor sistema de fixação sob o ponto de vista econômico.

3.2 Descrição do modelo Pro-Comp

Conforme a Figura 15, o Pro-Comp está dividido em três blocos:

- 1) Especificação do sistema de fixação;
- 2) Processamento (fases dos processos);
- 3) Saída com Resultados comparativos.

Como é um modelo destinado a ser utilizado por projetistas, este terá acesso aos blocos de **Especificação** (entrada de dados) e de **Saída** (com os resultados comparativos), sendo que o bloco denominado **Processamento** contém banco de dados e parâmetros do sistema proposto que são necessários para a realização dos diversos cálculos e comparação de custos.

O Pro-Comp pode ser entendido como sendo um processador das informações do sistema de fixação (geradas pelo projetista no bloco de especificação do sistema de fixação) que se utiliza de várias informações, dados e equações definidas e disponibilizadas no bloco de processamento (obtidas em literatura, junto aos fabricantes e empresas⁴, e outras definidas durante este trabalho) gerando no bloco de saída os resultados comparativos entre as alternativas escolhidas, conforme Figura 15.

⁴ Os parâmetros industriais foram obtidos junto à Volvo do Brasil, os parâmetros operacionais foram obtidos nas empresas BCC, Guhring, Flomdrill e SKF, e na bibliografia.

O denominado bloco de processamento está composto por sub-blocos que contêm:

- a) Dados de equipamentos, ferramentas e outros materiais necessários ao modelo;
- b) Informações gerais, que contêm os custos, tempos, constantes e demais informações diversas não relacionadas diretamente aos equipamentos e ferramentas; e
- c) Formulários, equações e cálculos utilizados no modelo, para cada fase estudada (Aquisição e Estocagem, Manufatura, Montagem e Manutenção).

O resultado comparativo será apresentado para cada uma das fases citadas anteriormente: i) aquisição e estocagem; ii) manufatura; iii) montagem; e iv) manutenção.

A Figura 16 mostra os fluxos das alternativas nas quatro fases estudadas, onde pode-se observar as diferenças de necessidades de ferramentas, áreas, embalagens e peças.

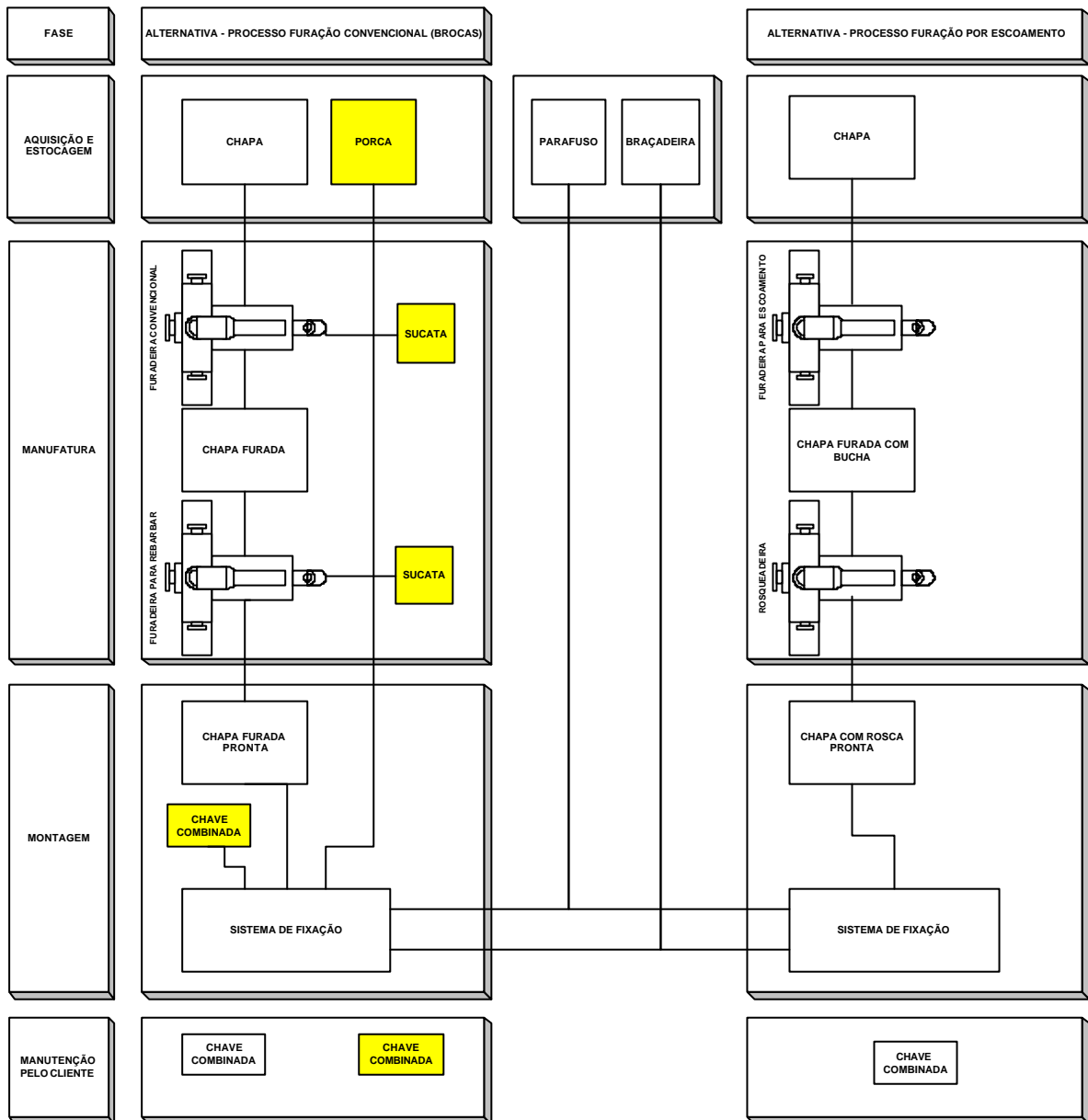


Figura 16 - Fluxograma das alternativas⁵.

3.2.1 Considerações e parâmetros do modelo Pro-Comp

Por se tratar de modelo para comparação financeira entre duas alternativas de processos de manufatura distintos, as considerações e os cálculos serão feitos apenas com os fatores que são influenciados pelas diferenças de processos e que

⁵ Alguns dos componentes e ferramentas que são idênticos nas duas alternativas propostas não foram incluídos no modelo por não resultarem em diferenças de custos.

tenham influência expressiva nos resultados. Assim sendo, o Pro-Comp não se aplica para calcular ou estimar o custo final de um sistema de fixação.

Os dados, parâmetros e equações utilizados estão contidos nos APÊNDICE D (custos), APÊNDICE E (tempos), APÊNDICE F (embalagens) e APÊNDICE G (materiais auxiliares) e nos ANEXO C (furação por escoamento), ANEXO E (matéria-prima), ANEXO F (equipamentos), ANEXO G (áreas), ANEXO H (tempos), ANEXO I (mão-de-obra), ANEXO J (tempos).

Os valores de referência são fundamentados a partir de situação real, e para efeitos da dissertação estão apresentados na forma de UM (Unidade Monetária)⁶. Isto visa preservar as fontes de informação, sem prejudicar a análise dos resultados.

O estudo será feito com Chapas Finas de Aço ABNT 1020, espessura de até 6 mm.

As unidades de medida são as permitidas no Sistema Internacional.

Este modelo é básico, possuindo alguns parâmetros pré-definidos que possibilitam as comparações necessárias sem, no entanto, esgotar as possibilidades de desenvolvimento e ampliação futuras. Assim, estão definidos alguns equipamentos, ferramentas, valores de mão-de-obra, energia elétrica, preço de material e outros específicos, para a comparação proposta.

A alimentação de peças, remoção de sucata, limpeza de equipamentos e ferramentas, estão considerados como sendo feitas uma vez ao dia. Portanto, os cálculos das necessidades, seus custos e tempos serão diários.

O Pro-Comp está limitado a três tamanhos de embalagens (Pequenas, Médias e Grandes), todas feitas em plástico e são utilizadas para movimentação de materiais nas empresas.

A instalação e retirada de ferramentas, e preparação (*set-up*) dos equipamentos estão sendo consideradas no final da vida útil das ferramentas. Não está considerada a afiação das ferramentas.

⁶ O valor da UM (Unidade Monetária) foi definido como sendo o valor em R\$ multiplicado por 10 e dividido por 2,86 (1 US\$ = R\$ 2,86 em Setembro de 2003).

Com estas considerações iniciais sobre o modelo, nas próximas seções tratar-se-á da explicação detalhada de cada componente do modelo.

3.2.2 Especificação do sistema de fixação

Na área de Projeto (ver Figura 13), durante a etapa conceitual, definem-se os requisitos técnicos dos elementos que compõem o produto (e.g. quantidades, dimensões, materiais, entre outros). Estas especificações são definidas ou obtidas por cálculos técnicos e necessidades de cada projeto ou produto, não sendo objeto de estudo neste trabalho.

A Tabela 8 traz um modelo de ficha desenvolvida para o registro da especificação do sistema de fixação desenvolvido neste trabalho, que são necessários para a realização dos cálculos propostos no modelo.

Tabela 8 - Modelo da ficha de Especificação do sistema de fixação.

Especificação do Sistema de Fixação		
Descrição da peça	Chapa	
Material da chapa	Aço 1020	
Espessura da chapa	4,25	mm
Comprimento da chapa	200	mm
Largura da chapa	100	mm
Dimensões da rosca	M14	
Quantidade de parafusos por conjunto	10	
Quantidade de conjuntos por período	1000	por ano
Necessidade de manutenções pelo cliente	2	por ano

3.2.2.1 Descrição da peça

Denominação da peça a ser furada. Conforme definido na seção 3.2.1, a descrição da peça válida para este modelo é Chapa.

3.2.2.2 Material

Vários são os materiais que podem ser utilizados em sistemas de fixação desmontáveis, podendo ser metálicos ou não-metálicos.

Por se tratar de uma proposta de metodologia de cálculo, o Pro-Comp se aplica aos casos de chapas de aço ABNT 1020 com elementos fixadores (porcas e parafusos) também em aço.

3.2.2.3 Dimensões dos elementos

Os elementos fixadores utilizados na indústria podem ter várias dimensões e tipos de roscas, assim como o tamanho dos sistemas de fixação são muito variados e dependentes do ramo industrial (eletrônica, naval, automotiva, eletrodomésticos e outros utensílios para o lar, entre outros) e da aplicação.

No Pro-Comp, as Dimensões da Rosca podem ser escolhidas entre as opções: M2, M3, M4, M5, M6, M8, M10, M12, M14, M16, M20 e M24. As roscas estão limitadas à disponibilidade de ferramentas e equipamentos normalmente oferecidos no mercado.

A Espessura da Chapa pode ser escolhida entre as opções definidas e normalizadas pela ABNT para chapas finas, ou seja, entre 0,30 e 6,00 mm, conforme ANEXO E.

3.2.2.4 Quantidade de parafusos por conjunto (sistema de fixação)

A quantidade de elementos fixadores (porcas e parafusos) em um sistema de fixação varia de acordo com o projeto, em função da necessidade técnica.

O Pro-Comp permite utilizar as quantidades definidas tecnicamente pelo projetista.

3.2.2.5 Quantidade de conjuntos (sistemas de fixação) por período

Quantidade de conjuntos do sistema de fixação necessários em um período de tempo. Neste modelo o período de tempo definido é ano.

3.2.2.6 Necessidade de manutenções pelo cliente por período

A quantidade de manutenções requeridas é também uma definição de projeto (não cabendo neste trabalho sua definição), e é dependente de uma série de fatores de projeto e de utilização do produto final.

Para o Pro-Comp fica estabelecida a manutenção em três prazos bem distintos: mensal, semestral e anual, o que permite uma visualização comparativa de comportamento de custos sob o ponto de vista do cliente.

3.2.3 Aquisição e Estocagem

Na área de Compras e Materiais (ver Figura 13), consideram-se os custos de Aquisição e Estocagem dos elementos que compõem o sistema de fixação. Entre os fatores que influenciam os resultados desta fase, têm-se o custo da matéria-prima, custo da mão-de-obra e de equipamentos para recebimento, controle de qualidade e de estoque, movimentação, expedição, custos de embalagens, custo da área necessária para o estoque e custos administrativos em geral, entre outros.

Por se tratar de um modelo comparativo entre duas alternativas de processos de manufatura, alguns dos fatores citados não são relevantes, por serem similares ou idênticos, independentemente do processo considerado.

O manuseio do estoque e o seu transporte (incluindo os equipamentos necessários) até a área de manufatura também devem ser considerados. Entretanto, por ser um custo de difícil definição em função das inúmeras variáveis existentes (localização, *layout*, dimensões e pesos das peças, entre outros), este modelo não considera os custos decorrentes das peças adicionais (porcas) utilizadas na alternativa de furação convencional (Ver seção 2.7). Porém, sabe-se que este fator aumenta o custo do produto final que utiliza o processo de furação convencional.

Assim, neste modelo estão considerados os seguintes fatores geradores de custos:

3.2.3.1 Matéria-prima

Este é o fator de maior influência no custo final de um produto conforme apresentado na seção 2.7.

Como matéria-prima considera-se todo o material adquirido seja ele já acabado (pronto para uso) ou a ser processado.

No Pro-Comp estão incluídos os custos de aquisição dos elementos do sistema de fixação que são diferentes entre as alternativas comparadas: elemento fixador com rosca interna (porca) e elemento base (chapa). Os valores incluem: fretes, inspeções e controles, necessários para cada peça.

Para a alternativa que utiliza o processo de furação convencional é necessária a utilização de porca para o sistema de fixação.

O custo de aquisição da chapa pré-cortada nas dimensões definidas por projeto a ser furada está considerada nas duas opções, pois será utilizada nas demais fases da comparação. O preço por peso de chapa varia de acordo com a espessura e processo de laminação. Assim o modelo considera os preços obtidos junto aos fornecedores, sendo que o custo está calculado como sendo o peso multiplicado pelo preço por kgf. O peso é calculado pelas dimensões informadas.

Os custos e demais informações das porcas devem ser obtidos junto aos fornecedores.

A Tabela 9 mostra os modelos das fichas desenvolvidas para este trabalho.

Tabela 9 - Modelos das Fichas preenchidas com informações de matéria-prima.

Chapas de aço	
Espessura	Custo
mm	UM / kgf
0,30 a 0,70	6,06
0,80 a 1,00	5,53
1,25 a 1,75	5,80
2,00 a 3,00	4,46
3,15 a 3,35	4,75
3,55 a 6,00	5,16

Porcas de aço						
Rosca	Passo	Peso	Custo	Dimensões		
	mm	gf	UM / unidade	mm		
M02	0,40	-	-	-	-	-
M03	0,50	-	-	-	-	-
M04	0,70	1,5	0,17	4,0	7,0	7,7
M05	0,80	2	0,21	5,0	8,0	8,8
M06	1,00	3	0,28	6,0	10,0	11,1
M08	1,25	7	0,42	8,0	13,0	14,4
M10	1,50	12	0,49	10,0	15,0	16,6
M12	1,75	21	0,91	12,0	18,0	20,0
M14	2,00	30	1,26	14,0	21,0	23,4
M16	2,00	50	3,81	16,0	24,0	26,8
M20	2,50	99	5,49	20,0	30,0	33,0
M24	3,00	120	7,90	29,0	36,0	40,0

Assim, o custo de matéria-prima em cada sistema de fixação é representado pela equação:

$$K_{MP} = C_{Chapa} + C_{Porca} \cdot Q_{Porcas} \tag{Eq. 1}$$

Onde:

K_{MP} = custo de matéria-prima por sistema de fixação (UM)⁷

C_{Chapa} = custo da chapa utilizada em um sistema de fixação (UM)

C_{Porca} = custo unitário da porca (UM)

Q_{Porcas} = quantidade de porcas em cada sistema de fixação, no caso só utilizada na furação convencional

3.2.3.2 Área de estocagem de matéria-prima

No cálculo do custo da área (ou espaço) de estocagem considera-se o valor da área, das construções, seguros, manutenção, depreciação e custos financeiros.

A área adicional necessária para a estocagem das porcas necessárias na alternativa de furação convencional está considerada aqui, e envolve a alimentação diária de peças. Portanto, a quantidade de embalagens aqui expressa refere-se à quantidade de porcas utilizadas em um dia. As embalagens são escolhidas nesta ordem: uma a quatro embalagens pequenas e depois uma ou duas embalagens médias. Caso o volume seja maior só serão utilizadas embalagens grandes.

Utilizando-se como base a Eq. 29, detalhada no APÊNDICE D, tem-se o custo do espaço de embalagem para cada sistema de fixação:

$$K_{EspaçoEMBPorcas} = Q_{EMBPorcas} \cdot A_{EMBPorcas} \cdot 668,71^8 / Q_{SF} \quad \text{Eq. 2}$$

Onde:

$K_{EspaçoEMBPorcas}$ = custo do espaço utilizado pelas embalagens para as porcas por sistema de fixação (UM)

$Q_{EMBPorcas}$ = quantidade de embalagens necessárias para armazenar o volume diário de porcas no estoque principal, calculada conforme Eq. 79 do APÊNDICE F.

$A_{EMBPorcas}$ = área ocupada pela embalagem (m²)

Q_{SF} = quantidade de sistemas de fixação por ano

⁷ A letra K inicial utilizada nos elementos das equações significa que o custo é para cada conjunto de Sistema de Fixação.

⁸ Este fator foi obtido conforme descrito no APÊNDICE D (Eq. 24 a 29).

As dimensões das embalagens devem ser obtidas junto a fornecedores, conforme modelo desenvolvido para este trabalho apresentado na Tabela 10.

Tabela 10 - Modelo da Ficha com os dados de embalagens.

Embalagens					
Modelo	Capacidade	Custo	Dimensões (mm)		
	mm ³	UM / unidade	Altura	Largura	Comprimento
Pequena	4347000	16,08	120	160	315
Média	39146250	87,27	230	408	607
Grande	76678875	419,58	233	614	814

3.2.3.3 Embalagens para estocagem de matéria-prima

O cálculo do custo de embalagens considera o custo de aquisição, depreciação, vida útil e custos financeiros. Somente será considerado o custo de embalagens adicionais necessárias para o armazenamento com os elementos que diferem entre as alternativas estudadas.

As embalagens adicionais necessárias para a estocagem das porcas utilizadas na alternativa de furação convencional estão consideradas aqui.

Utilizando-se como base a Eq. 36, detalhada no APÊNDICE D, tem-se o custo da embalagem para cada sistema de fixação:

$$KF_{EMBPorcas} = Q_{EMBPorcas} \cdot C_{EMBPorcas} \cdot 0,35 / Q_{SF} \quad \text{Eq. 3}^9$$

Onde:

$KF_{EMBPorcas}$ = custo de embalagem por sistema de fixação (UM)

$C_{EMBPorcas}$ = custo de aquisição da embalagem (UM)

As dimensões das embalagens devem ser obtidas junto a fornecedores, conforme modelo na Tabela 10.

⁹ Os valores das constantes que aparecem nas Equações do Capítulo 3 são obtidos pela aplicação dos valores, dados e informações registrados nos Anexos e Apêndices. Neste caso o valor 0,35 é decorrente dos valores da vida útil (VU = 5 anos) e do seguro do equipamento (SEQ = 0).

3.2.3.4 Custo final da fase de Aquisição e Estocagem

Assim tem-se o custo final desta fase como:

$$KAE = K_{MP} + K_{EspaçoEMBPorcas} + K_{FEMBPorcas} \quad \text{Eq. 4}$$

Onde,

KAE = custo de aquisição e estocagem por sistema de fixação (UM)

3.2.4 Manufatura

Na área Industrial (ver Figura 13) considera-se primeiramente a manufatura ou fabricação dos elementos.

Na fase de manufatura de componentes ou elementos, encontram-se os custos dos equipamentos, das ferramentas, dos dispositivos, das áreas ocupadas para equipamentos e estoques intermediários, mão-de-obra direta, materiais auxiliares, embalagens, sucateamento de matéria-prima e custos administrativos, entre outros.

O Pro-Comp contempla os fatores que geram grandes diferenças entre os dois processos de manufatura estudados.

As informações devem ser obtidas junto a fornecedores, fabricantes, bibliografias, publicações e observações feitas durante este trabalho, conforme modelos nas Tabela 11, Tabela 12 e Tabela 13.

3.2.4.1 Equipamentos

Este fator é bastante representativo no cálculo de custos, pois os equipamentos possuem elevados custos de aquisição que resultam em grande parcela componente do custo final do produto.

O cálculo de custo dos Equipamentos pode ser dividido entre custos fixos e variáveis. Os primeiros são relacionados à aquisição do mesmo (e.g. custo, depreciação, vida útil, juros, área utilizada, seguros), e independem da operação, manufatura ou produção de componentes. Já os custos variáveis estão relacionados

diretamente ao volume de componentes produzidos (*i.e.* manutenção, consumo de energia).

Assim, considera-se que os custos fixos são divididos ou rateados pelo volume de produção em um período de tempo, e os custos variáveis são aplicados diretamente ao tempo de produção necessário para cada componente ou elemento.

Os dados (modelo, capacidade, preço, potência, velocidades e dimensões) dos diferentes equipamentos (*e.g.* furadeiras de bancada necessárias para a confecção dos furos por escoamento e com brocas, rosqueadeiras e cabeçotes para fazer roscas, mandris e pinças porta-ferramenta), são obtidos junto aos fornecedores e encontram-se no ANEXO F.

Utilizando-se como base a Eq. 36, detalhada no APÊNDICE D, tem-se o custo fixo do equipamento para cada sistema de fixação:

$$K_{FEQUIP} = (A \cdot 668,71 + C_{EQUIP} \cdot 0,26) / Q_{SF} \quad \text{Eq. 5}$$

Utilizando-se a equação detalhada no APÊNDICE D (Eq. 40), tem-se o custo variável do equipamento para cada sistema de fixação:

$$K_{VEQUIP} = t_{op} \cdot (C_{EQUIP} / 88000 + N_{EQ} \cdot 0,524) / 3600 \quad \text{Eq. 6}$$

Onde:

K_{FEQUIP} = custo fixo do equipamento para cada sistema de fixação (UM)

C_{EQUIP} = custo de aquisição do equipamento (UM)

K_{VEQUIP} = custos variáveis do equipamento por sistema de fixação (UM)

t_{op} = tempo de operação dos equipamentos utilizados na manufatura para cada sistema de fixação (s), calculado conforme APÊNDICE E (Eq. 77)

N_{EQ} = potência do equipamento (kW)

Tabela 11 - Modelo da Ficha com os dados dos equipamentos.

Furadeiras para Furação Convencional							
Rosca	Código	Custo	Potência	Largura	Profundidade	Capacidade	
		UM	kW	mm	mm	Furação	rpm
M02	F1	12.300,24	0,375	300	565	ate 6 mm	1100 a 10100
M03	F1	12.300,24	0,375	300	565	ate 6 mm	1100 a 10100
M04	F1	12.300,24	0,375	300	565	ate 6 mm	1100 a 10100
M05	F1	12.300,24	0,375	300	565	ate 6 mm	1100 a 10100
M06	F2	21.262,05	0,525	370	700	ate 10 mm	614 a 10100
M08	F2	21.262,05	0,525	370	700	ate 10 mm	614 a 10100
M10	F3	17.918,81	0,525	370	700	ate 12 mm	480 a 3200
M12	F4	20.121,99	0,75	370	700	ate 16 mm	360 a 2100
M14	F4	20.121,99	0,75	370	700	ate 16 mm	360 a 2100
M16	F5	24.052,10	0,675	370	700	ate 25 mm	426 a 1580
M20	F5	24.052,10	0,675	370	700	ate 25 mm	426 a 1580
M24	F6	-	-	-	-	-	-

3.2.4.2 Mão-de-obra direta

O custo da mão-de-obra direta utilizada na manufatura considera o tempo total para a instalação e retirada de ferramentas, a preparação (*set-up*) inicial dos equipamentos e a operação (tempos de aproximação, trabalho efetivo e retorno).

Considera-se também no Pro-Comp os custos de mão-de-obra adicional necessária para a limpeza de equipamentos em função dos diferentes processos de manufatura.

Os valores dos salários com encargos para os diversos operadores devem ser obtidos em pesquisas publicadas, nas empresas e fornecedores, entre outros.

Os valores dos tempos e custos de cada etapa da manufatura em cada um dos dois processos estudados são obtidos através dos valores apresentados no ANEXO I e equações do APÊNDICE E.

Assim o custo para cada conjunto de sistema de fixação é:

$$K_{MOD} = t_{tm} \cdot SOPE / 3600 \quad \text{Eq. 7}$$

Onde:

K_{MOD} = custo de mão-de-obra de manufatura por conjunto de sistema de fixação (UM)

t_{tm} = tempo total para a manufatura de cada chapa componente do sistema de fixação (s), calculado conforme APÊNDICE E

$SOPE$ = salário dos operadores de furadeiras e rosqueadeiras (UM / h)

3.2.4.3 Ferramentas para manufatura

Ferramentas para manufatura são consideradas como consumíveis, ou seja, são utilizadas por determinado período (vida útil) e descartadas, sendo que em alguns casos podem ser recuperadas (e.g. afiação, enchimento).

No Pro-Comp, o cálculo de custos das ferramentas inclui o custo de aquisição (conforme Tabela 12), vida da ferramenta e capacidades conforme equações do APÊNDICE D. Não foi considerada a possibilidade de afiação de ferramentas (brocas convencionais), pois no modelo as brocas escolhidas são feitas em aço-rápido possuindo um baixo custo de aquisição em relação à afiação, sabe-se entretanto, que para outros tipos de brocas de maior custo (e.g. escalonadas, metal-duro) a afiação é utilizada.

Os valores dos custos de aquisição, vida útil e capacidade das diferentes ferramentas encontram-se nos ANEXO F e ANEXO H, que contêm os dados (modelo, preço, vida, parâmetros de operação) para os diversos machos para conformação ou laminação necessários para a confecção das roscas nos furos feitos por escoamento nas chapas, para as diversas brocas e escareadores necessários para a confecção dos furos feitos nas chapas, e para as diversas ferramentas necessárias para a confecção dos furos a serem escoados nas chapas.

Tabela 12 - Modelo da Ficha com os dados das ferramentas para manufatura.

Ferramentas para Manufatura								
	Brocas Helicoidais		Escareador		Flowdrill		Macho laminador	
	Diâmetro	Custo	Diâmetro	Custo	Diâmetro	Custo	Diâmetro	Custo
Rosca	mm	UM	mm	UM	mm	UM	mm	UM
M02	3	3,43	10	183,92	1,8	-	2	-
M03	4	4,27	10	183,92	2,7	1.019,58	3	298,32
M04	5	5,63	10	183,92	3,7	1.268,81	4	298,32
M05	6	7,06	10	183,92	4,5	1.321,68	5	298,32
M06	8	11,64	20	198,36	5,3	1.382,10	6	298,32
M08	10	21,40	20	198,36	7,3	1.797,48	8	324,76
M10	12	30,10	20	198,36	9,2	1.963,64	10	370,07
M12	14	97,24	20	198,36	10,9	2.454,55	12	422,94
M14	16	147,27	20	198,36	13,1	2.718,88	14	453,15
M16	18	157,97	30	698,60	14,8	3.209,79	16	589,09
M20	22	348,01	30	698,60	18,7	3.360,84	20	740,14
M24	26	-	30	698,60	22,5	3.587,41	24	944,06

l) Ferramenta para furação por escoamento

Por se tratar de uma ferramenta que possui poucos fornecedores, todos localizados na Europa, as informações não são de fácil obtenção, existindo em alguns casos diferenças técnicas e de operação entre os diversos fabricantes.

Neste trabalho utilizam-se informações obtidas junto a dois dos principais fornecedores (*Flowdrill®* e *Drabus®*), conforme Tabela 12 e Eq. 42 do APÊNDICE D.

$$K_{FL} = C_{FL} \cdot Q_{Porcas} / 20000 \tag{Eq. 8}$$

Onde:

K_{FL} = custo da ferramenta *Flowdrill®* por sistema de fixação (UM)

C_{FL} = custo de aquisição da ferramenta *Flowdrill®* (UM)

II) Machos para conformação

Para a confecção das roscas, o modelo considera apenas os machos laminadores, sendo que os machos de corte não estão incluídos no escopo, pois os machos para conformação possuem algumas vantagens importantes conforme seções 2.3.3 e 2.3.4.2.

Os dados utilizados para os machos laminadores em aço-rápido, estão na Tabela 12 e Eq. 43 do APÊNDICE D.

$$K_{MC} = C_{MC} \cdot Q_{Porcas} \cdot e / 50000 \quad \text{Eq. 9}$$

Onde:

K_{MC} = custo da ferramenta macho para conformação por sistema de fixação (UM)

C_{MC} = custo de aquisição da ferramenta macho para conformação (UM)

e = espessura da chapa (mm)

III) Brocas helicoidais

Consideradas brocas para aplicação genérica em aço, fabricadas com aço-rápido, tipo Normal, norma DIN 338, conforme Tabela 12 e Eq. 44 do APÊNDICE D.

$$K_{BRO} = C_{BRO} \cdot Q_{Porcas} \cdot e / 5000 \quad \text{Eq. 10}$$

Onde:

K_{BRO} = custo da broca helicoidal por sistema de fixação (UM)

C_{BRO} = custo de aquisição da broca helicoidal (UM)

IV) Brocas escareadoras (ou para rebarbação)

Consideradas brocas escareadoras para aplicação genérica em aço, fabricadas com aço-rápido, conforme Tabela 12 e Eq. 45 do APÊNDICE D.

$$K_{ESC} = C_{ESC} \cdot Q_{Porcas} \cdot d / 300000 \quad \text{Eq. 11}$$

Onde:

K_{ESC} = custo da broca escareadora por sistema de fixação (UM)

C_{ESC} = custo de aquisição da broca escareadora (UM)

d = diâmetro do furo (mm)

3.2.4.4 Tratamento de Sucata

A produção de sucata resultante de processos de corte, normalmente na forma de cavacos é indesejável, mas é um fato real, e assim precisa ser tratada.

O Pro-Comp calcula a quantidade de material resultante de cada processo, considerando o volume retirado de cada furo no caso da furação convencional (com brocas) e transforma em peso, sendo que o material removido só pode ser aproveitado como sucata. Entre os processos estudados neste trabalho, somente o que utiliza a furação convencional gera cavacos.

A sucata proveniente do processo de escarear ou rebarbação do furo após o processo de furação convencional, não está considerada no Pro-Comp por ser de difícil medição e de pequeno valor. Entretanto, é um fator que aumenta o custo de manufatura de um produto que utiliza a furação convencional.

Os custos das embalagens e áreas adicionais necessárias para o armazenamento da sucata produzida na furação convencional são considerados nesta fase.

Os custos de mão-de-obra adicional para o manuseio da sucata resultante da alternativa que utiliza o processo de furação convencional (brocas), o transporte entre a geração da sucata e a área de descarte ou expedição e os demais danos causados não estão considerados neste modelo, conforme exposto na seção 3.2.3.

Utilizando-se a Eq. 29, detalhada no APÊNDICE D, tem-se o custo do espaço de embalagem necessária para armazenar a sucata gerada na alternativa de furação convencional para cada sistema de fixação:

$$K_{EspaçoEMBSucata} = Q_{EMBSucata} \cdot A_{EMBSucata} \cdot 668,71 / Q_{SF} \quad \text{Eq. 12}$$

Onde:

$K_{\text{EspaçoEMBSucata}}$ = custo do espaço utilizado pelas embalagens utilizadas para a sucata por sistema de fixação (UM)

$Q_{\text{EMBSucata}}$ = quantidade de embalagens necessárias para armazenar o volume diário da sucata gerada na furação convencional, calculada conforme Eq. 80 do APÊNDICE F.

$A_{\text{EMBSucata}}$ = área ocupada pela embalagem utilizada para a sucata (m²)

Utilizando-se como base a Eq. 36, detalhada no APÊNDICE D, tem-se o custo da embalagem para armazenar a sucata por cada sistema de fixação:

$$K_{\text{FEMBSucata}} = Q_{\text{EMBSucata}} \cdot C_{\text{EMBSucata}} \cdot 0,35 / Q_{\text{SF}} \quad \text{Eq. 13}$$

Onde:

$K_{\text{FEMBSucata}}$ = custo de embalagem para sucata por sistema de fixação (UM)

$C_{\text{EMBSucata}}$ = custo de aquisição da embalagem necessária para a sucata (UM)

3.2.4.5 *Materiais auxiliares*

Neste âmbito são incluídos outros materiais utilizados nos processos de manufatura, como: pastas, óleos de corte, fluidos, panos, estopas, luvas, máscaras, entre outros.

O modelo contempla os fluidos, pastas e óleos de corte utilizados em cada um dos processos comparados. O consumo e os custos destes devem ser obtidos junto aos fornecedores, conforme Tabela 13.

Tabela 13 - Modelo da Ficha com os dados dos materiais auxiliares.

Materiais auxiliares					
Descrição	Custos		Rendimentos		
	UM / litro	UM / kgf	ml / cm ³ de material removido	furos / kgf	roscas / litro
Fluido de corte (brocas)	251,75	-	28,50	-	-
Pasta para Flowdrill Fd-KS	-	1.041,96	-	20000	-
Óleo para rosqueamento	160,84	-	-	-	100000

O custo do fluido de corte utilizado em cada conjunto de sistema de fixação na furação convencional é calculado pela Eq. 81 do APÊNDICE G. Assim, tem-se:

$$K_{AUXBRO} = C_{FLUCOR} \cdot Q_{Porcas} \cdot d^2 \cdot e / 44675,07 \quad \text{Eq. 14}$$

Onde:

K_{AUXBRO} = custo de fluido de corte por conjunto de sistema de fixação (UM)

C_{FLUCOR} = custo do fluido de corte (UM / l)

O custo da pasta utilizada em cada conjunto de sistema de fixação na furação por escoamento é calculado pela Eq. 82 do APÊNDICE G, assim tem-se:

$$K_{AUXFL} = C_{PASTA} \cdot Q_{Porcas} / 20000 \quad \text{Eq. 15}$$

Onde:

K_{AUXFL} = custo de pasta lubrificante por conjunto de sistema de fixação (UM)

C_{PASTA} = custo da pasta lubrificante (UM / kgf)

O custo do óleo utilizado em cada conjunto de sistema de fixação no rosqueamento por conformação é calculado pela Eq. 83 do APÊNDICE G, assim tem-se:

$$K_{AUXMC} = C_{OLEO} \cdot Q_{Porcas} / 100000 \quad \text{Eq. 16}$$

Onde:

K_{AUXMC} = custo do óleo para rosqueamento por conjunto de sistema de fixação (UM)

C_{OLEO} = custo do óleo (UM / l)

3.2.4.6 Custo final da fase de Manufatura

Assim tem-se o custo final desta fase como:

$$KMA = K_{FEQUIP} + K_{VEQUIP} + K_{MOD} + K_{FERR} + K_{EspaçoEMBSucata} + K_{FEMBSucata} + K_{AUX} \quad \text{Eq. 17}$$

Onde,

KMA = custo de manufatura para cada conjunto de sistema de fixação (UM)

K_{FERR} = custo das ferramentas utilizadas na manufatura em cada alternativa (UM), conforme seção 3.2.4.3.

K_{AUX} = custo dos materiais auxiliares em cada alternativa (óleos, fluidos, pastas) (UM), conforme seção 3.2.4.5.

3.2.5 Montagem

A Montagem (ver Figura 13) é a segunda atividade componente da área Industrial. As influências dos diversos parâmetros nos custos de montagem estão relacionadas a vários fatores, conforme apresentado na seção 2.4.

Dentre estes estão a mão-de-obra, as ferramentas necessárias para a montagem, a área de trabalho e de estocagem, as embalagens, as bancadas e a energia para acionamento das ferramentas.

O Pro-Comp considera apenas os fatores resultantes de elementos que possuem diferentes processos de montagem.

3.2.5.1 Mão-de-obra direta (montagem)

O cálculo do custo da Mão-de-obra na Montagem considera os tempos de montagem dos elementos no conjunto ou produto final e o valor da mão-de-obra pelo período de tempo, conforme ANEXO I, ANEXO J e APÊNDICE E.

No Pro-Comp, os tempos diferentes entre as duas alternativas são resultantes da utilização de ferramentas adicionais (chaves combinadas) e as peças adicionais (porcas), no caso da alternativa que utiliza o processo de furação convencional.

Assim o custo para cada conjunto de sistema de fixação é:

$$K_{MOM} = t_m \cdot S_{MON} / 3600 \quad \text{Eq. 18}$$

Onde:

K_{MOM} = custo de mão-de-obra de montagem por conjunto de sistema de fixação (UM)

t_m = tempo necessário para a montagem de cada conjunto de sistema de fixação (s), calculado conforme APÊNDICE E (Tabela 37)

S_{MON} = salário dos montadores (UM / h)

3.2.5.2 Ferramentas para montagem

A utilização de ferramentas no processo de montagem varia de acordo com o que se deseja montar, podendo necessitar de ferramentas complexas ou simples, ferramentas automáticas ou não, ferramentas de acionamento mecânico, elétrico ou pneumático, ou ainda manuais. Tem-se ainda que nem todos os processos de montagem necessitam ferramentas (e.g. porcas tipo borboleta).

No caso do sistema de fixação estudado neste trabalho, as ferramentas de uso geralmente são as chaves combinadas (Tabela 14) e as chaves pneumáticas.

Os fatores que compõem os custos são: custos de aquisição, vida útil, depreciação, manutenção e capacidade das diferentes ferramentas.

No Pro-Comp consideram-se as ferramentas diferentes utilizadas nas alternativas estudadas. Assim, para a montagem das porcas (utilizadas na furação

convencional) será considerada uma chave combinada adicional. A equação detalhada está no APÊNDICE D (Eq. 36).

$$K_{FFMON} = C_{FMON} \cdot 0,35 / Q_{SF} \tag{Eq. 19}$$

Onde:

K_{FFMON} = custo fixo das ferramentas adicionais utilizadas na montagem de porcas por sistema de fixação (UM)

C_{FMON} = custo de aquisição das ferramentas adicionais utilizadas na montagem de porcas (UM)

Tabela 14 - Modelo da Ficha com os dados das ferramentas para montagem e manutenção.

Chaves Combinadas		
Rosca	Dimensões da chave	Custo
	mm	UM
M02	4,0	-
M03	5,5	-
M04	7,0	14,83
M05	8,0	15,10
M06	10,0	15,94
M08	13,0	18,74
M10	17,0	27,38
M12	19,0	30,31
M14	22,0	35,28
M16	24,0	41,29
M20	30,0	87,97
M24	36,0	126,64

3.2.5.3 Área de estocagem intermediária

A área adicional necessária para a estocagem das porcas necessárias na alternativa de furação convencional está considerada aqui. A equação a ser utilizada aqui é a mesma definida em 3.2.3.2 (Eq. 2).

3.2.5.4 Embalagens para estocagem intermediária

As embalagens adicionais necessárias para a estocagem das porcas utilizadas na alternativa de furação convencional estão consideradas aqui. A equação a ser utilizada aqui é a mesma definida em 3.2.3.3 (Eq. 3).

3.2.5.5 Custo final da fase de Montagem

Assim tem-se o custo final desta fase como:

$$KM = K_{MOM} + K_{FFMON} + K_{EspaçoEMBPorcas} + K_{FEMBPorcas} \quad \text{Eq. 20}$$

Onde,

KM = custo de montagem para cada conjunto de sistema de fixação (UM)

3.2.6 Manutenção anual

Os sistemas de fixação podem ser desmontáveis ou não. A definição é baseada na necessidade ou não de manutenção após a montagem do sistema completo. Conforme definido neste trabalho os sistemas são desmontáveis, portanto sujeitos à manutenção.

Durante a vida do produto, o cliente poderá ter necessidade de realizar Manutenção no produto (ver Figura 13), existindo diversos fatores que influenciam positiva ou negativamente nos custos de manutenção, bem como na percepção do cliente sobre o produto. Entre estes, estão os custos da mão-de-obra e de ferramentas, quantidade de manutenções no período, dificuldade de acesso e custo de peças, entre outros.

O Pro-Comp não tem como objetivo avaliar os fatores técnicos e sim os processos de desmontagem e montagem ocorrentes quando da realização da manutenção. Os custos avaliados incluem os custos fixos das ferramentas (chaves combinadas) utilizadas nas duas alternativas, e os tempos necessários para as movimentações dos parafusos, porcas e ferramentas, com ênfase nos fatores que são diferentes entre as alternativas estudadas.

A quantidade de manutenções requeridas é também uma definição de projeto (não cabendo neste trabalho sua definição), e é dependente de uma série de fatores de projeto e de utilização do produto final. Para este modelo fica estabelecida a manutenção em três prazos bem distintos: mensal, semestral e anual. Isto permite uma visualização comparativa de comportamento do modelo sob o ponto de vista do cliente. Assim, no Pro-Comp estão considerados os custos anuais de manutenção pelo cliente.

3.2.6.1 Mão-de-obra para manutenção pelo cliente

O cálculo do custo da Mão-de-obra na Manutenção realizada pelo cliente considera os tempos de desmontagem e montagem dos elementos no produto final e o valor da mão-de-obra pelo período de tempo.

No Pro-Comp, os tempos diferentes entre as alternativas são resultantes da utilização de ferramentas adicionais no caso da utilização de porcas (necessárias no processo de furação convencional com brocas), e devido à quantidade de porcas que devem ser desmontadas e montadas novamente.

Nos ANEXO I, ANEXO J e no APÊNDICE E estão as equações e demais considerações utilizadas para os cálculos.

Assim o custo para cada conjunto de sistema de fixação é:

$$K_{MOC} = t_{mc} \cdot S_{MOC} \cdot Q_{MCL} / 3600 \quad \text{Eq. 21}$$

Onde:

K_{MOC} = custo de mão-de-obra do cliente por conjunto de sistema de fixação em um ano (UM / ano)

t_{mc} = tempo adicional necessário para a manutenção de cada conjunto de sistema de fixação (s), calculado conforme APÊNDICE E (Eq. 78).

S_{MOC} = salário dos funcionários do cliente que realizam a manutenção (UM / h)

Q_{MCL} = quantidade de manutenções realizadas pelo cliente em um ano (1, 2 ou 12)

3.2.6.2 Ferramentas para manutenção pelo cliente

A utilização de ferramentas na manutenção varia de acordo com o que se necessita desmontar e montar, e é resultante do projeto conceitual, podendo ser de diversas formas, acionamentos, complexidade e tamanhos, e em alguns casos não há necessidade de utilizar ferramentas.

No caso dos sistemas de fixação, as ferramentas utilizadas pelos clientes são geralmente as chaves combinadas (Tabela 14) e as chaves pneumáticas.

Os fatores que compõem os custos são: custos de aquisição, vida útil, depreciação, manutenção e capacidade das diferentes ferramentas.

No Pro-Comp consideram-se as ferramentas utilizadas na desmontagem e montagem do sistema de fixação. Assim, para o caso em que se utilizam porcas (utilizadas na furação convencional) estão consideradas duas chaves combinadas, e para a alternativa que utiliza o processo de furação por escoamento com rosca conformada, apenas uma ferramenta.

A equação detalhada está no APÊNDICE D (Eq. 36).

$$K_{FFCL} = C_{FCL} \cdot 0,35 \quad \text{Eq. 22}$$

Onde:

K_{FFCL} = custo fixo das ferramentas utilizadas na manutenção de porcas por sistema de fixação em um ano (UM / ano)

C_{FCL} = custo de aquisição das ferramentas utilizadas na manutenção (UM)

3.2.6.3 Custo final da fase de Manutenção pelo Cliente

Assim tem-se o custo final desta fase como:

$$K_{MC} = K_{MOC} + K_{FFCL} \quad \text{Eq. 23}$$

Onde,

K_{MC} = custo anual de manutenção do cliente para cada sistema de fixação (UM / ano)

3.2.7 Informações gerais

Com o intuito de facilitar a alteração de valores utilizados em vários cálculos, foi criado um banco de dados com informações utilizadas em várias fases e equações necessárias para os cálculos. Esta decisão também proporciona a liberdade de aplicar o Pro-Comp às situações individuais de cada projetista, desde que respeitadas as premissas básicas do mesmo.

O formulário apresentado na Tabela 15 foi desenvolvido neste estudo para o registro de dados econômicos, técnicos e administrativos.

Tabela 15 - Modelo da Ficha preenchida com informações econômicas e administrativas.

INFORMAÇÕES GERAIS			
Nível econômico	Mês / ano	<i>Setembro / 2003</i>	
Energia elétrica	0,5245	UM / kWh	
Mão-de-obra		Salários com encargos	
Operador de máquinas	36,63	UM / h	
Montador	36,89	UM / h	
Mecânico de manutenção	59,77	UM / h	
Turno de operação	8	h / dia	220 dias / ano
Custo da área predial	2.622,38	UM / m ²	
Seguro predial	5 %	ao ano	
Seguro de equipamentos	1 %	ao ano	
Manutenção predial	1,5 %	ao ano	
Manutenção de equipamentos	2 %	ao ano	
Juros de oportunidade	15 %	ao ano	

3.3 Saída dos resultados comparativos

Os resultados das alternativas comparadas são apresentados na forma de uma tabela com os custos de Aquisição e Estocagem, Manufatura, Montagem e Custo Final por Sistema de Fixação, e Custo Anual de Manutenção, e os tempos de Manufatura, Montagem e Tempo Final por Sistema de Fixação, e Tempo Anual para Manutenção.

Os resultados dos custos apresentados na Tabela 16 estão expressos em Unidade Monetária (UM) e os tempos em segundos (s). Como estes valores representam as diferenças obtidas entre as duas alternativas avaliadas e não os custos reais finais de cada sistema de fixação, optou-se por apresentá-los na Saída de Resultados em relação à alternativa que utiliza a Furação Convencional. Assim, os valores de cada linha da tabela de resultados são divididos pelo valor total de custo ou de tempo resultante nos cálculos da alternativa de furação convencional, cujo custo total será sempre considerado como sendo uma Unidade de Comparação Monetária (UCM) e o tempo total de fabricação como sendo uma Unidade de Comparação de Tempo (UCT). A Tabela 17 apresenta o formato desenvolvido neste trabalho já com os resultados calculados conforme descrito.

Os resultados superiores à unidade (UCM ou UCT) indicam que a alternativa Furação por Escoamento seguido de Rosqueamento por Conformação é pior (mais caro e / ou mais demorado), e os resultados inferiores à unidade indicam que esta alternativa é mais interessante sob o ponto de vista financeiro e / ou tempos.

Tabela 16 - Modelo da Ficha com os Resultados dos cálculos.¹⁰

Resultados		
CUSTOS (Unidade Monetária)	Furação Convencional	Furação por Escoamento
Aquisição e Estocagem	0,46	0,18
Manufatura	0,53	0,76
Montagem	0,12	0,00
Custo Final do Sistema de Fixação	1,10	0,94
Custo de Manutenção pelo Cliente por ano	11,24	5,62
TEMPOS (s)	Furação Convencional	Furação por Escoamento
Manufatura	32,89	25,92
Montagem	11,01	0,39
Tempo Final do Sistema de Fixação	43,90	26,31
Tempo para Manutenção por ano	29,02	14,51

Tabela 17 - Modelo da Ficha de Saída com os Resultados Comparativos.

Resultados Comparativos		
CUSTOS (Unidade de Comparação Monetária)	Furação Convencional	Furação por Escoamento
Aquisição e Estocagem	0,42	0,16
Manufatura	0,48	0,69
Montagem	0,11	0,00
Custo Final do Sistema de Fixação	1,00	0,86
Custo de Manutenção pelo Cliente por ano	1,00	0,50
TEMPOS (Unidade de Comparação de Tempo)	Furação Convencional	Furação por Escoamento
Manufatura	0,75	0,59
Montagem	0,25	0,01
Tempo Final do Sistema de Fixação	1,00	0,60
Tempo para Manutenção por Sistema de Fixação	1,00	0,50

¹⁰ Os custos de Manutenção pelo cliente apresentam valores superiores aos custos industriais (Aquisição, Manufatura e Montagem), devido à influência dos custos fixos das ferramentas utilizadas.

3.4 Sumário das equações aplicáveis ao modelo Pro-Comp

Com o objetivo de melhor visualização das diversas equações de custos utilizadas no modelo, a seguir são apresentadas as Tabela 18, Tabela 19, Tabela 20 e Tabela 21, contendo cada fase considerada no modelo. Nas Tabela 22, Tabela 23 e Tabela 24 estão as equações utilizadas para os cálculos dos tempos diferentes necessários em cada alternativa comparada, também separados em cada fase.

Tabela 18 - Equações dos custos da fase de Aquisição e Estocagem.

Equação	KAE = K _{MP} + K _{EspaçoEMBPorcas} + K _{FEMBPorcas}	
	KAE = custo de aquisição e estocagem por sistema de fixação (UM)	
Componentes	Processo Furação por Escoamento	Processo Furação Convencional
$K_{MP} = C_{Chapa} + C_{Porca} \cdot Q_{Porcas}$ <p> K_{MP} = custo de matéria-prima por sistema de fixação (UM) C_{Chapa} = custo da chapa utilizada em um sistema de fixação (UM) C_{Porca} = custo unitário da porca (UM) Q_{Porcas} = quantidade de porcas em cada sistema de fixação </p>	f(chapa)	f(chapa e porca)
$K_{EspaçoEMBPorcas} = Q_{EMBPorcas} \cdot A_{EMBPorcas} \cdot 668,71 / Q_{SF}$ <p> K_{EspaçoEMBPorcas} = custo do espaço utilizado pelas embalagens para porcas por sistema de fixação (UM) Q_{EMBPorcas} = quantidade de embalagens necessárias para armazenar o volume diário de porcas no estoque principal A_{EMBPorcas} = área ocupada pela embalagem (m²) Q_{SF} = quantidade de sistemas de fixação por ano </p> $Q_{EMBPorcas} = V_{Porcas} / V_{EMBPorcas}$ <p> V_{Porcas} = volume das porcas necessárias a cada dia (mm³) V_{EMBPorcas} = capacidade volumétrica da embalagem (mm³) </p>	0	f (porca)
$K_{FEMBPorcas} = Q_{EMBPorcas} \cdot C_{EMBPorcas} \cdot 0,35 / Q_{SF}$ <p> K_{FEMBPorcas} = custo de embalagem por sistema de fixação (UM) C_{EMBPorcas} = custo de aquisição da embalagem (UM) </p>	0	f (porca)

Tabela 19 - Equações dos custos da fase de Manufatura.

Equação	$KMA = K_{FEQUIP} + K_{VEQUIP} + K_{MOD} + K_{FERR} + K_{EspaçoEMBSucata} + K_{FEMBSucata} + K_{AUX}$ KMA = custo de manufatura por sistema de fixação (UM)	
Componentes	Processo Furação por Escoamento	Processo Furação Convencional
$K_{FEQUIP} = [A \cdot 668,71 + C_{EQUIP} \cdot 0,26] / Q_{SF}$ K_{FEQUIP} = custo fixo do equipamento para cada sistema de fixação (UM) C_{EQUIP} = custo de aquisição do equipamento (UM)	f (furadeira para escoamento e rosqueadeira)	f (furadeira convencional e furadeira para escareamento)
$K_{VEQUIP} = t_{op} \cdot (C_{EQUIP} / 88000 + N_{EQ} \cdot 0,524) / 3600$ K_{VEQUIP} = custos variáveis do equipamento por sistema de fixação (UM) t_{op} = tempo de operação dos equipamentos utilizados na manufatura para cada sistema de fixação (s) N_{EQ} = potência do equipamento (kW)	f (furadeira para escoamento e rosqueadeira)	f (furadeira convencional e furadeira para escareamento)
$K_{MOD} = t_{tm} \cdot S_{OPE} / 3600$ K_{MOD} = custo de mão-de-obra de manufatura por conjunto de sistema de fixação (UM) t_{tm} = tempo total para a manufatura de cada chapa componente do sistema de fixação (s) S_{OPE} = salário dos operadores de furadeiras e rosqueadeiras (UM / h)	f (furadeira para escoamento + rosqueadeira)	f (furadeira convencional e furadeira para escareamento)
$K_{FL} = C_{FL} \cdot Q_{porcas} / 20000$ K_{FL} = custo da ferramenta Flowdrill® por sistema de fixação (UM) $K_{MC} = C_{MC} \cdot Q_{porcas} \cdot e / 50000$ K_{MC} = custo da ferramenta macho para conformação por sistema de fixação (UM) e = espessura da chapa (mm) $K_{BRO} = C_{BRO} \cdot Q_{porcas} \cdot e / 5000$ K_{BRO} = custo da broca helicoidal por sistema de fixação (UM) $K_{ESC} = C_{ESC} \cdot Q_{porcas} \cdot d / 300000$ K_{ESC} = custo da broca escareadora por sistema de fixação (UM) d = diâmetro do furo (mm)	f (vida do flowdrill e do macho de conformação)	f (vida da broca e do escareador)
$K_{EspaçoEMBSucata} = Q_{EMBSucata} \cdot A_{EMBSucata} \cdot 668,71 / Q_{SF}$ $K_{EspaçoEMBSucata}$ = custo do espaço utilizado pelas embalagens utilizadas para a sucata por sistema de fixação (UM) $Q_{EMBSucata}$ = quantidade de embalagens necessárias para armazenar o volume diário da sucata gerada na furação convencional $A_{EMBSucata}$ = área ocupada pela embalagem utilizada para a sucata (m ²) $Q_{EMBSucata} = V_{Sucata} / V_{EMBSucata}$ V_{Sucata} = volume da sucata produzida na furação convencional a cada dia (mm ³) $V_{EMBSucata}$ = capacidade volumétrica da embalagem (mm ³)	0	f (cavacos da furação)
$K_{FEMBSucata} = Q_{EMBSucata} \cdot C_{EMBSucata} \cdot 0,35 / Q_{SF}$ $K_{FEMBSucata}$ = custo de embalagem para sucata por sistema de fixação (UM) $C_{EMBSucata}$ = custo de aquisição da embalagem necessária para a sucata (UM)	0	f (cavacos da furação)
$K_{AUXFL} = C_{PASTA} \cdot Q_{porcas} / 20000$ K_{AUXFL} = custo de pasta lubrificante por conjunto de sistema de fixação (UM) C_{PASTA} = custo da pasta lubrificante (UM / kgf) $K_{AUXMC} = C_{OLEO} \cdot Q_{porcas} / 100000$ K_{AUXMC} = custo do óleo para rosqueamento por conjunto de sistema de fixação (UM) C_{OLEO} = custo do óleo (UM / l) $K_{AUXBRO} = C_{FLUCOR} \cdot Q_{porcas} \cdot d^2 \cdot e / 44675,07$ K_{AUXBRO} = custo de fluido de corte por conjunto de sistema de fixação (UM) C_{FLUCOR} = custo do fluido de corte (UM / l)	f (pasta e óleo de corte)	f (fluido de corte)

Tabela 20 - Equações dos custos da fase de Montagem.

Equação	$KM = K_{MOM} + K_{FFMON} + K_{EspaçoEMBPorcas} + K_{FEMBPorcas}$ KM = custo de montagem por sistema de fixação (UM)	
Componentes	Processo Furação por Escoamento	Processo Furação Convencional
$K_{MOM} = t_m \cdot S_{MON} / 3600$ K_{MOM} = custo de mão-de-obra de montagem por conjunto de sistema de fixação (UM) t_m = tempo adicional necessário para a montagem de cada conjunto de sistema de fixação (s), calculado conforme Apêndice E, Tabela 24 S_{MON} = salário dos montadores (UM / h)	f (pré-fixação do parafuso)	f (pré-fixação do parafuso, porcas e chave adicional)
$K_{FFMON} = C_{FFMON} \cdot 0,35 / Q_{SF}$ K_{FFMON} = custo fixo das ferramentas adicionais utilizadas na montagem de porcas por sistema de fixação (UM) C_{FFMON} = custo de aquisição das ferramentas adicionais utilizadas na montagem de porcas por sistema de fixação (UM)	0	f (chave adicional e porcas)
$K_{EspaçoEMBPorcas} = Q_{EMBPorcas} \cdot A_{EMBPorcas} \cdot 668,71 / Q_{SF}$	0	f (porcas)
$K_{FEMBPorcas} = Q_{EMBPorcas} \cdot C_{EMBPorcas} \cdot 0,35 / Q_{SF}$	0	f (porcas)

Tabela 21 - Equações dos custos da fase de Manutenção.

Equação	$KMC = K_{MOC} + K_{FFCL}$ KMC = custo de manutenção anual pelo cliente por sistema de fixação (UM / ano)	
Componentes	Processo Furação por Escoamento	Processo Furação Convencional
$K_{MOC} = t_{mc} \cdot S_{MOC} \cdot Q_{MCL} / 3600$ K_{MOC} = custo de mão-de-obra do cliente por conjunto de sistema de fixação por ano (UM / ano) t_{mc} = tempo necessário para a manutenção de cada conjunto de sistema de fixação (s), calculado conforme Apêndice E, Eq. 77 S_{MOC} = salário dos funcionários do cliente que realizam a manutenção (UM / h) Q_{MCL} = quantidade de manutenções realizadas pelo cliente em um ano	f (chave combinada e pré-fixação do parafuso)	f (porcas, chaves combinadas e pré-fixação do parafuso)
$K_{FFCL} = C_{FFCL} \cdot 0,35$ K_{FFCL} = custo fixo das ferramentas utilizadas na manutenção por sistema de fixação por ano (UM / ano) C_{FFCL} = custo de aquisição das ferramentas utilizadas na manutenção (UM)	f (chave combinada)	f (2 chaves combinadas)

Tabela 22 - Equações dos tempos de Manufatura.

Equação	$t_{tot} = t_{if} + t_{pe} + t_{cp} + t_{ap} + t_{ex} + t_{af} + t_{mp} + t_{rp} + t_l$ t_{tot} = tempo total de manufatura para cada sistema de fixação (s)		
	Componentes	Processo Furação por Escoamento	Processo Furação Convencional
	<u>Tempo para instalar a ferramenta (tif)</u> $t_{ifFL} = 9 \cdot Q_{Porcas} / 20000$ $t_{ifMC} = 9 \cdot Q_{Porcas} \cdot e / 50000$ $t_{ifBRO} = 9 \cdot Q_{Porcas} \cdot e / 5000$ $t_{ifESC} = 9 \cdot Q_{Porcas} \cdot d / 300000$	f (vida da ferramenta para escoamento e do macho para conformação)	f (vida da broca helicoidal e da broca para escarear)
	<u>Tempo para preparar (set-up) o equipamento (tpe)</u> $t_{peFL} = 3600 \cdot Q_{Porcas} / 20000$ $t_{peMC} = 3600 \cdot Q_{Porcas} \cdot e / 50000$ $t_{peBRO} = 3600 \cdot Q_{Porcas} \cdot e / 5000$ $t_{peESC} = 3600 \cdot Q_{Porcas} \cdot d / 300000$	f (vida da ferramenta para escoamento e do macho para conformação)	f (vida da broca helicoidal e da broca para escarear)
	<u>Tempo para colocar a peça ou retirar a peça do equipamento (tcp e trp)</u> $t_{cp} = t_{rp} = 1,4 \text{ s}$ (chapas até 0,2 kgf) $t_{cp} = t_{rp} = 6,5 \text{ s}$ (chapas de 0,2 até 4,5 kgf) $t_{cp} = t_{rp} = 12 \text{ s}$ (chapas de 4,5 até 14 kgf)	f (peso da chapa)	f (peso da chapa)
	<u>Tempo de aproximação (tap) e tempo de afastamento (taf)</u> $t_{apFL} = t_{afFL} = Q_{Porcas} \cdot t_{exFL} \cdot 0,25 \cdot d / e$ $t_{apMC} = t_{afMC} = 0$ (incluído no tempo para executar a rosca) $t_{apBRO} = t_{afBRO} = Q_{Porcas} \cdot t_{exBRO} \cdot 0,25 \cdot d / e$ $t_{apESC} = t_{afESC} = Q_{Porcas} \cdot t_{exESC} \cdot 0,25 \cdot d / e$	f (diâmetro da ferramenta para escoamento)	f (diâmetro da broca helicoidal e da broca para escarear)
	<u>Tempo para executar a operação (tex)</u> $t_{exFL} = (1 + e) \cdot Q_{Porcas}$ $t_{exMC} = 0,008571 \cdot (3,5 \cdot e + 15 + 4 \cdot p) \cdot d \cdot Q_{Porcas} / p$ $t_{exBRO} = (e + d \cdot 0,182) \cdot d \cdot Q_{Porcas} / s \cdot 441,67$ $t_{exESC} = 1 \cdot 2 \cdot Q_{Porcas}$	f (processo de furação por escoamento e rosqueamento por conformação)	f (processo de furação convencional com broca e escareador)
	<u>Tempo para mudar a peça no dispositivo (entre cada furo) (tmp)</u> $t_{mp} = (t_{cp} + t_{rp}) \cdot (Q_{Porcas} - 1)$ $t_{mpESC} = (t_{cp} + t_{rp}) \cdot Q_{Porcas}$	f (número de furações)	f (número de furações)
	<u>Tempo para limpar o equipamento (tl)</u> $t_{lFL} = 0$ $t_{lMC} = 0$ $t_{lBRO} = 900 \cdot 220 / Q_{SF}$ $t_{lESC} = 900 \cdot 220 / Q_{SF}$	0	$t_{lf} = 900 \text{ s}$ $t_{le} = 600 \text{ s}$
	<u>Tempo de operação do equipamento (top)</u> $t_{op} = t_{cp} + t_{ap} + t_{ex} + t_{af} + t_{mp} + t_{rp}$		

Tabela 23 - Equações dos tempos de Montagem.

Equação	$t_m = TMU \cdot 0,036$ t_m = tempo para a montagem de cada sistema de fixação (s)	
Componentes	Processo Furação por Escoamento	Processo Furação Convencional
TMU = Time Measurement Unit, obtido conforme Apêndice E.	f (pré-fixação do parafuso)	f (pré-fixação do parafuso, porcas e chave adicional)

Tabela 24 - Equações dos tempos de Manutenção.

Equação	$t_{mc} = t_{mand} + t_{manm}$ t_{mc} = tempo para a manutenção realizada pelo cliente em cada sistema de fixação (s)	
Componentes	Processo Furação por Escoamento	Processo Furação Convencional
t_{mand} = tempo para desmontagem do sistema de fixação (s)	f (chave combinada)	f (porcas e chaves combinadas)
t_{manm} = tempo para a montagem do sistema de fixação (s)	f (chave combinada e pré-fixação do parafuso)	f (porcas, chaves combinadas e pré-fixação do parafuso)

3.5 Desenvolvimento de ferramenta computacional

Com o objetivo de agilizar o processo de cálculo dos fatores geradores de custos, permitindo ao próprio projetista obter os resultados comparativos rapidamente, foi criada uma ferramenta computacional utilizando planilha eletrônica comercial (Microsoft® Excel®), conforme exemplos nas Figura 17 e Figura 18, que contêm as Especificações do Sistema de Fixação e a Saída com os Resultados Comparativos. As demais informações e dados apresentados nas fichas das seções 3.2.3, 3.2.4, 3.2.5 e 3.2.7 também estão incluídas na planilha.

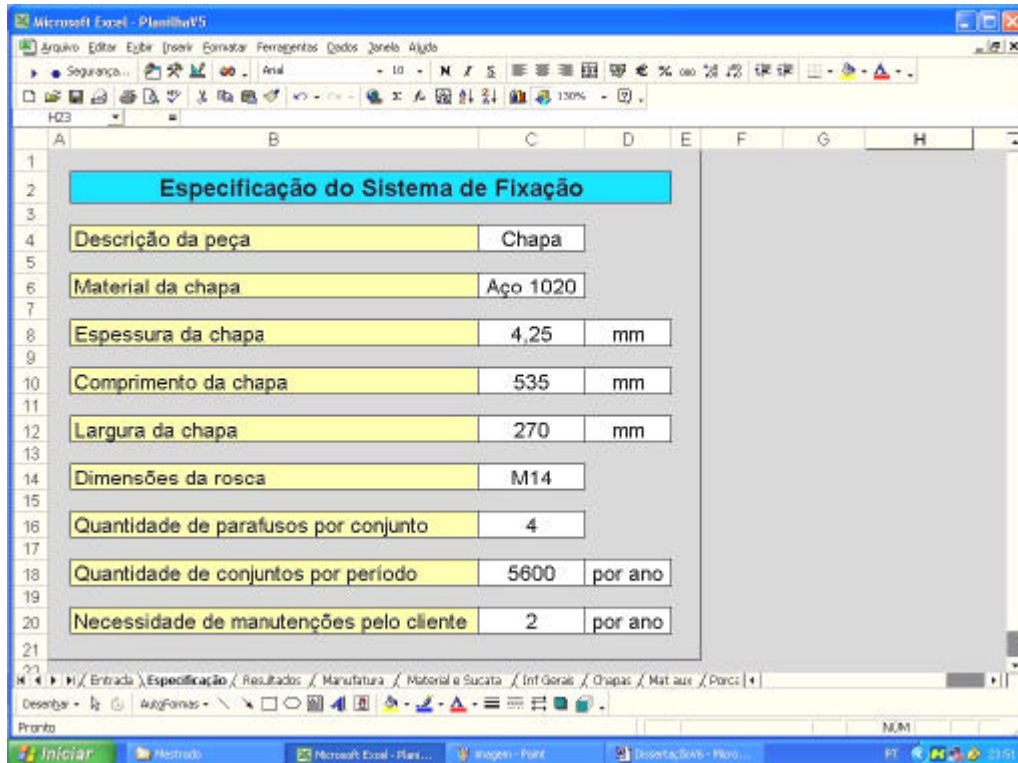


Figura 17 - Especificação do sistema de fixação.

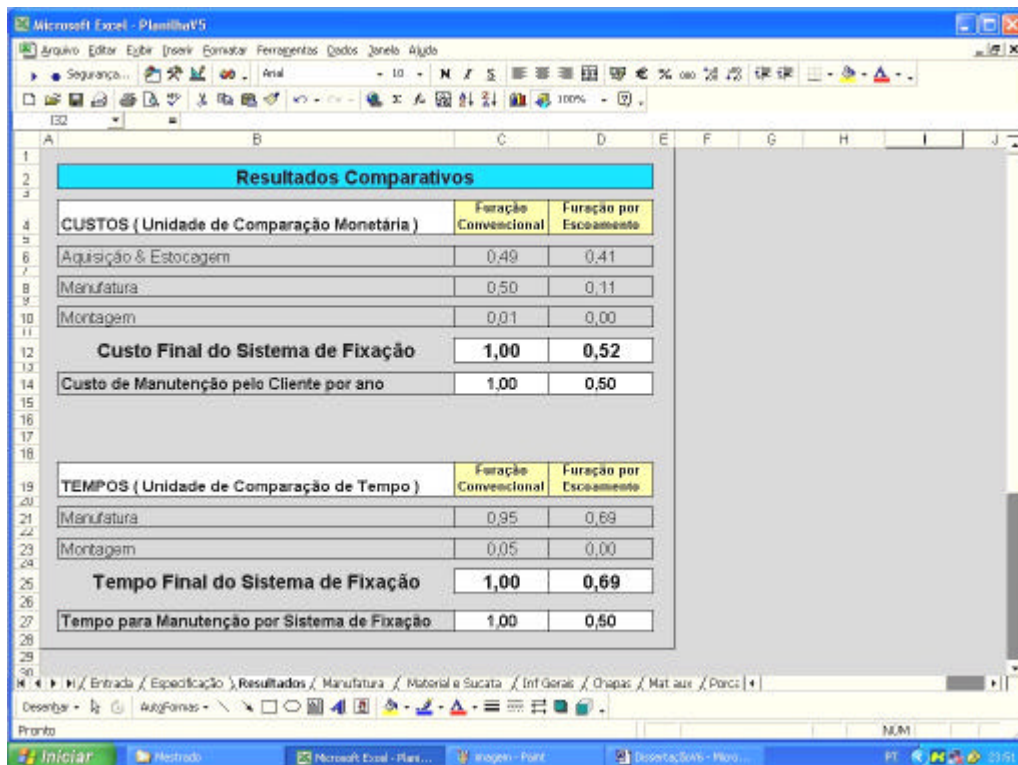


Figura 18 - Saída com resultados comparativos.

3.6 Teste do modelo

Para a verificação do modelo proposto, são feitos cálculos manuais com cada equação conceitual (ver resultados na Tabela 25 e Tabela 26) e depois utilizam-se as equações sumarizadas na seção 3.4, com a aplicação da ferramenta computacional do Pro-Comp. Assim, pode-se verificar se existe algum erro ou falha nas considerações do modelo, e a amplitude destes.

O cliente necessita adquirir anualmente 5000 produtos conforme Figura 19, composto pelos elementos A, B, C, D e E:

- ?? Dois elementos base em chapa plana de aço ABNT 1020, com as dimensões 25 mm de largura por 250 mm de comprimento e espessura de 3 mm (C),
- ?? Dois elementos auxiliares feitos em chapa de 5 mm com dimensões 250 mm, largura 25 mm e altura de 100 mm, dobrada conforme desenho, também em aço (B),
- ?? Quatro conjuntos de elementos fixadores com rosca M8 (D e E), e
- ?? Uma base em madeira de 250 mm por 450 mm, com espessura de 20 mm (A).

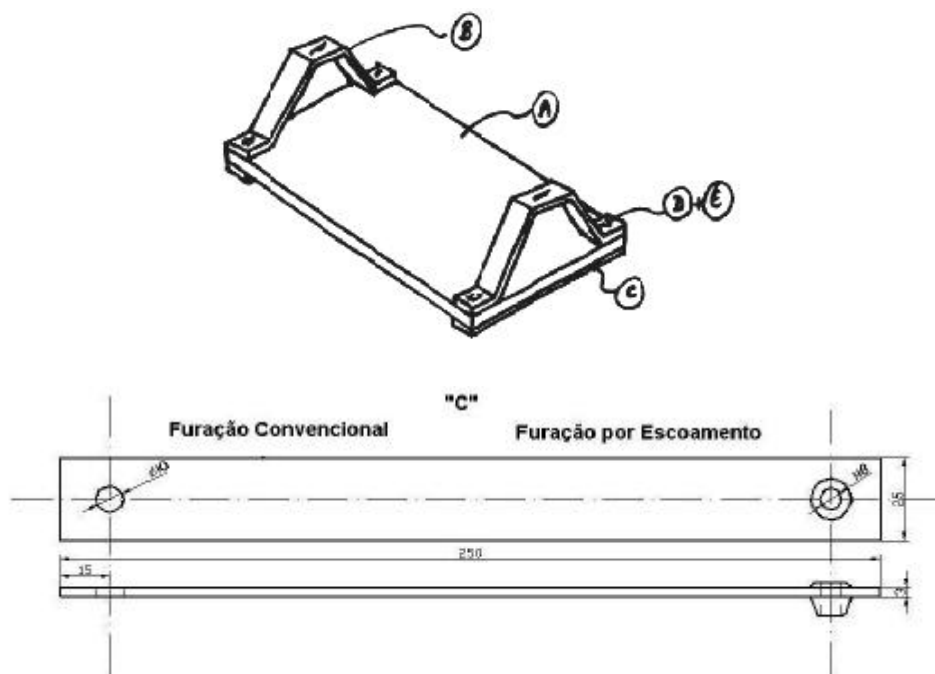


Figura 19 - Conjunto para a validação do modelo.

Aplicando-se no elemento C as equações básicas e demais considerações apresentadas nos APÊNDICE D, APÊNDICE E, APÊNDICE F e APÊNDICE G e nos ANEXO E, ANEXO F, ANEXO G, ANEXO H, ANEXO I e ANEXO J, obtêm-se os valores apresentados nas Tabela 25 e Tabela 26.

Verifica-se que para este caso, a alternativa que utiliza a furação por escoamento seguida por rosqueamento por conformação, apresenta valores de custos menores que a furação convencional em todas as fases do processo (Aquisição e Estocagem, Manufatura, Montagem e Manutenção), conforme Tabela 25. O mesmo ocorre com os tempos conforme Tabela 26.

Tabela 25 - Resultados dos cálculos de custos (manuais).

		Furação Convencional (UM)	Furação por Escoamento (UM)
Aquisição e estocagem	KAE	1,5169	0,6578
	KMP	1,4978	0,6578
	KEspaçoEMBPorcas	0,0185	
	KFEMBPorcas	0,0006	
Manufatura	KMA	5,3230	2,4002
	KFEQUIP	1,0763	1,6553
	KVEQUIP	0,0038	0,0093
	KMOD	0,8038	0,4094
	KFL		0,1797
	KMC		0,0390
	KBRO	0,0257	
	KESC	0,0132	
	KEspaçoEMBSucata	0,0185	
	KFEMBSucata	0,0006	
	KAUXFL		0,1042
	KAUXMC		0,0032
	KAUXBRO	3,3811	
Montagem	KM	0,1326	0,0040
	KMOM	0,1128	0,0040
	KFFMON	0,0007	
	KEspaçoEMBPorcas	0,0185	
	KFEMBPorcas	0,0006	
		(UM / ano)	(UM / ano)
Manutenção Anual	KMC	13,6644	6,7931
	KMOC	0,5464	0,2341
	KFFCL	13,1180	6,5590

Tabela 26 - Resultados dos cálculos de tempos (manuais).

		Furação Convencional (s)	Furação por Escoamento (s)	
Manufatura	Instalar ferramenta	tiFL	0,0009	
		tiMC	0,0011	
		tiBRO	0,0108	
		tiESC	0,0006	
	Preparar equipamento	tpeFL		0,3600
		tpeMC		0,4320
		tpeBRO	4,3200	
		tpeESC	0,2400	
	Colocar peça	tcpFL		1,4000
		tcpMC		1,4000
		tcpBRO	1,4000	
		tcpESC	1,4000	
Aproximação	tapFL		4,8667	
	tapMC		0,0000	
	tapBRO	3,1745		
	tapESC	3,3333		
Execução	texFL		8,0000	
	texMC		10,5126	
	texBRO	3,8094		
	texESC	4,0000		
Afastamento	tafFL		4,8667	
	tafMC		0,0000	
	tafBRO	3,1745		
	tafESC	3,3333		
Mudar peça	tmpFL		2,8000	
	tmpMC		2,8000	
	tmpBRO	2,8000		
	tmpESC	5,6000		
Retirar peça	trpFL		1,4000	
	trpMC		1,4000	
	trpBRO	1,4000		
	trpESC	1,4000		
Limpeza	tlFL		0,0000	
	tlMC		0,0000	
	tlBRO	19,8000		
	tlESC	19,8000		
Operação	topFL		23,3333	
	topMC		16,1126	
	topBRO	15,7584		
	topESC	19,0667		
Equipamentos	ttotFL		23,6942	
	ttotMC		16,5457	
	ttotBRO	39,8892		
	ttotESC	39,1073		
Total		79,00	40,24	
Montagem		11,01	0,39	
Manutenção	Desmontagem	tmand	18,6624	
	Montagem	tmanm	14,2488	
	Total		32,91	
			14,10	

Aplicando-se nos resultados apresentados nas Tabela 25 e Tabela 26, o exposto na seção 3.3, obtêm-se os custos comparativos entre as alternativas nas Tabela 27 e Tabela 28. Observa-se que o custo da alternativa de furação por escoamento seguida por rosqueamento por conformação é menos que a metade do custo resultante do processo de furação convencional (com brocas).

Tabela 27 - Resultados comparativos dos cálculos de custos (manuais).

	Furação Convencional (UCM)	Furação por Escoamento (UCM)
Aquisição e estocagem (KAE)	0,22	0,09
Manufatura (KMA)	0,76	0,34
Montagem (KM)	0,02	0,00
Total do Sistema de Fixação	1,00	0,44
	(UCM / ano)	(UCM / ano)
Manutenção Anual (KMC)	1,00	0,50

Tabela 28 - Resultados comparativos dos cálculos de tempos (manuais).

	Furação Convencional (UCT)	Furação por Escoamento (UCT)
Manufatura	0,88	0,45
Montagem	0,12	0,00
Total do Sistema de Fixação	1,00	0,45
Manutenção	1,00	0,43

Ao utilizar-se da planilha eletrônica (modelo computacional) do Pro-Comp, a Entrada da Especificação fica conforme Figura 20.

Especificação do Sistema de Fixação		
Descrição da peça	Chapa	
Material da chapa	Aço 1020	
Espessura da chapa	3	mm
Comprimento da chapa	250	mm
Largura da chapa	25	mm
Dimensões da rosca	M08	
Quantidade de parafusos por conjunto	2	
Quantidade de conjuntos por período	10000	por ano
Necessidade de manutenções pelo cliente	1	por ano

Figura 20 - Especificação do sistema de fixação para validação do modelo.

Após a entrada destas informações, o modelo processa, escolhe os equipamentos, ferramentas, e outros parâmetros necessários, e calcula os tempos, áreas, e demais fatores, resultando na saída conforme Figura 21:

Resultados Comparativos		
CUSTOS (Unidade de Comparação Monetária)	Furação Convencional	Furação por Escocamento
Aquisição & Estocagem	0,22	0,09
Manufatura	0,76	0,34
Montagem	0,02	0,00
Custo Final do Sistema de Fixação	1,00	0,44
Custo de Manutenção pelo Cliente por ano	1,00	0,50
TEMPOS (Unidade de Comparação de Tempo)	Furação Convencional	Furação por Escocamento
Manufatura	0,88	0,45
Montagem	0,12	0,00
Tempo Final do Sistema de Fixação	1,00	0,45
Tempo para Manutenção por Sistema de Fixação	1,00	0,43

Figura 21 - Saída de resultados para validação do modelo.

Comparando-se os resultados dos cálculos apresentados nas Tabela 27 e Tabela 28 com a Figura 21, observa-se que são idênticos, indicando que o modelo proposto e a planilha eletrônica são funcionais e válidos.

4 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE E APLICAÇÃO DO MODELO

4.1 Análise de sensibilidade do modelo

O objetivo desta análise é verificar o comportamento do modelo em função de variações nas especificações ou requisitos técnicos de um sistema de fixação, para saber quais os limites dentro dos quais o mesmo pode ser aplicado. Estes limites podem ser de ordem técnica (e.g. capacidade de equipamentos, ferramentas)¹¹, de ordem comercial (e.g. disponibilidade de equipamentos, ferramentas) ou devido às características do modelo, conforme apresentado a seguir.

A não existência comercial de chaves combinadas para roscas M2 e M3, e a não disponibilidade de furadeira convencional para furos de 26 mm (necessários para parafusos com rosca M24) e furadeira para escoamento de roscas acima de M20 pelo fornecedor escolhido, permite análises do modelo para roscas com dimensões entre M4 e M16.

As ferramentas para furação por escoamento disponíveis comercialmente possuem as capacidades conforme Tabela 29.

Tabela 29 - Capacidades de ferramentas para furação por escoamento.

Rosca	Espessura da chapa (mm)
M4	0,8 a 2,5
M5	0,9 a 2,75
M6	1,25 a 2,75
M8	1,5 a 3,35
M10	2,0 a 3,55
M12	2,0 a 4,0
M14	2,0 a 4,5
M16	2,0 a 4,75

¹¹ Neste trabalho foram consideradas as informações e dados de equipamentos e ferramentas, disponíveis para comercialização imediata por qualquer interessado. Entretanto, tecnicamente é possível a produção de equipamentos e ferramentas para atender outras demandas.

Visando representar as diversas situações que o projetista pode enfrentar para definir a alternativa mais econômica, durante a fase inicial de projeto, as análises são feitas para três variáveis ou requisitos de entrada:

1. Dimensões de roscas;
2. Dimensões das chapas; e
3. Volumes anuais de produção.

Nas Figura 22, Figura 23, Figura 24 e Figura 25 estão alguns gráficos que indicam a sensibilidade do modelo em função de requisitos técnicos do sistema de fixação.

Conforme definido na seção 3.3, o resultado do custo da alternativa de furação convencional é sempre uma UCM. Assim, nos gráficos a seguir este custo está sempre representado pela linha horizontal que passa no valor unitário do eixo UCM.

Os demais valores (que representam os resultados da alternativa furação por escoamento e rosqueamento por conformação) são representados por diversas linhas (tracejadas, cheias e traço-ponto) que variam de acordo com as alterações nas diversas variáveis de entrada (dimensões da chapa, volume anual de produção, dimensões e quantidade de furos). Estes valores são os custos comparativos em relação à furação convencional, e podem ser inferiores ou superiores a uma UCM, indicando respectivamente a vantagem ou desvantagem da alternativa de furação por escoamento.

Na Figura 22 foram consideradas três dimensões de roscas (M4, M10 e M16) visando cobrir a disponibilidade de ferramentas para furação por escoamento. Observa-se que o modelo capta os limites de disponibilidade de cada ferramenta (os resultados dos custos comparativos para roscas M4 aparecem até chapas de espessura 2,5 mm, sendo que para as roscas M10 e M16 os resultados de custos aparecem para chapas com espessura superior a 2,0 mm), conforme limites apresentados na Tabela 29.

O modelo capta as variações dos requisitos como pode ser observado na Figura 22, onde nas peças de maiores dimensões (espessura, comprimento e largura), cujos custos de matéria-prima têm maior influência, os custos das duas alternativas comparadas tendem a se igualar (observar os casos das chapas com dimensões de 500 x 250 mm), pois há pouca influência dos processos estudados.

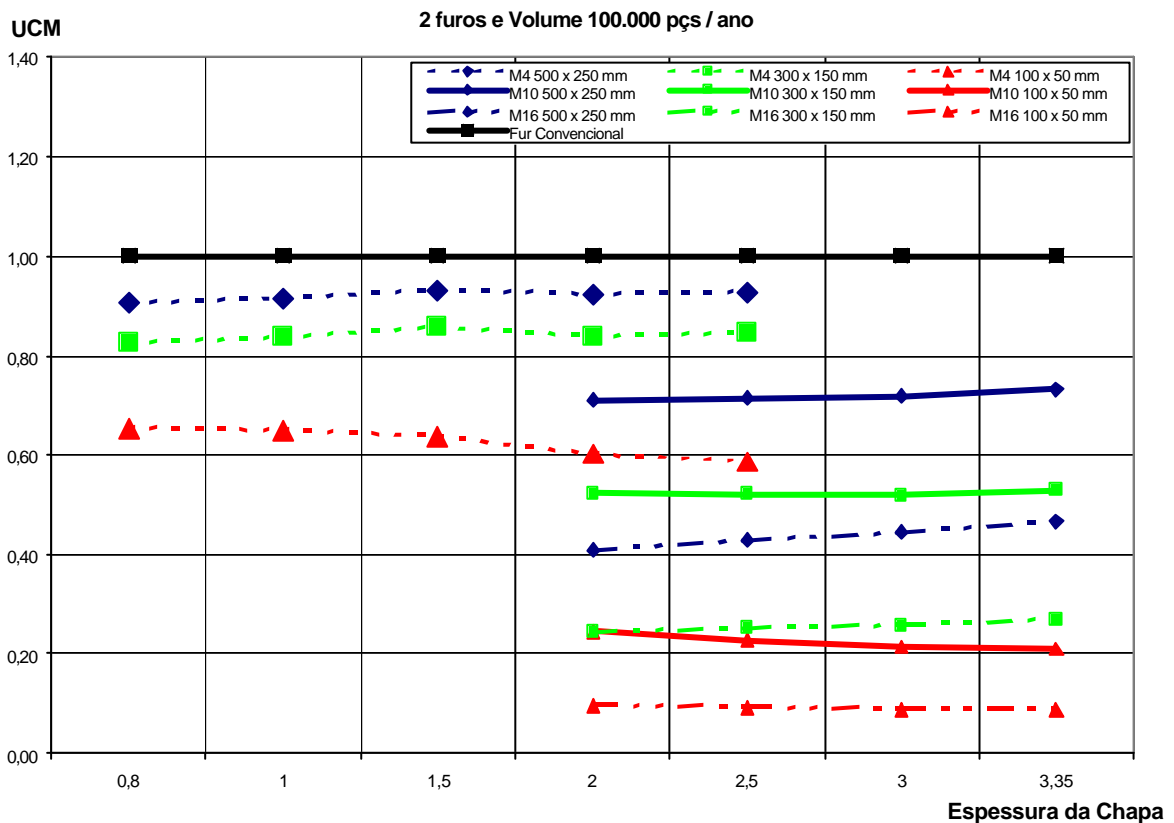


Figura 22 - Sensibilidade do modelo - espessura x custo.

Na Figura 23 (que contém na abcissa as dimensões das roscas M4 a M16), observa-se que para roscas menores, onde a influência do custo de matéria-prima é menor, o modelo capta bem os requisitos de entrada, mostrando os custos de manufatura, que são maiores em pequenos volumes anuais de produção para a alternativa de furação por escoamento, devido aos custos mais elevados de equipamentos e ferramentas.

Para volumes maiores, e também para roscas maiores, há um aumento da influência dos custos de matéria-prima, o que contribui em maior escala para o aumento dos custos da alternativa de furação convencional (que necessita porcas para a fixação).

Observa-se também que o modelo indica um elevado custo da alternativa de furação por escoamento na rosca M10, principalmente para pequenos volumes (1000 e 10000 peças / ano), este aumento é resultado do custo de aquisição do equipamento (furadeira convencional), que para furos de 12 mm (utilizados para parafusos M10) é menor que o custo de aquisição de furadeiras para furos menores e maiores. Esta decisão é do fornecedor de equipamentos e tem razões técnicas e comerciais, que não são objetos de estudo deste trabalho (ver Tabela 42).

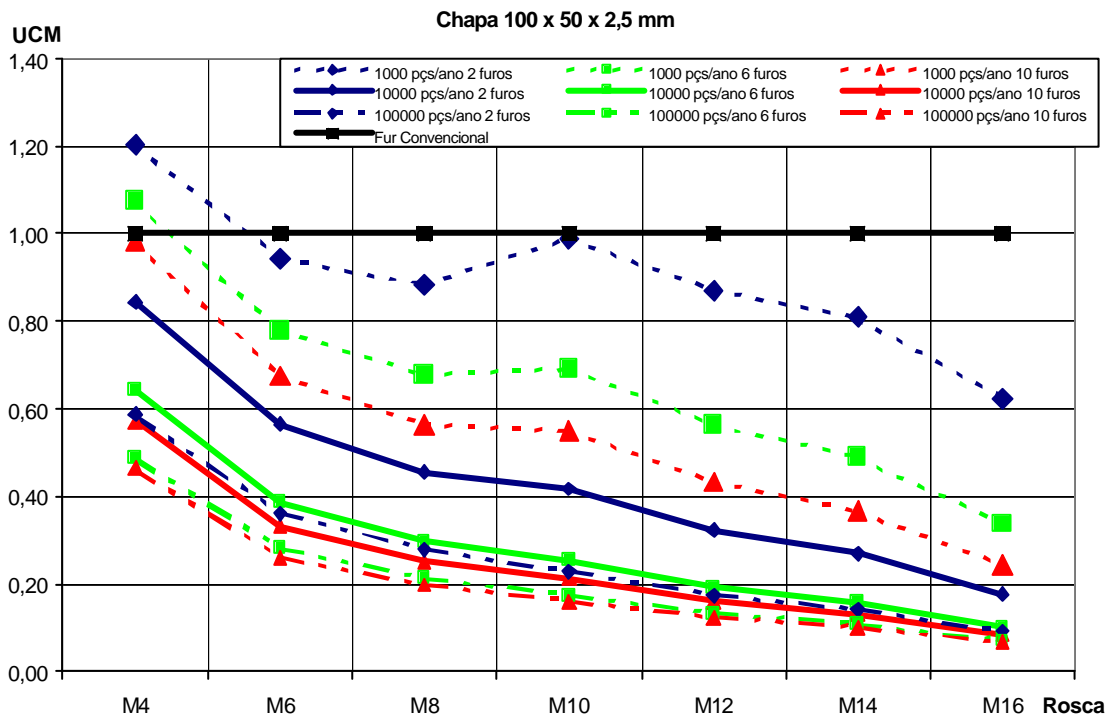


Figura 23 - Sensibilidade do modelo - diâmetro da rosca x custo.

A Figura 24 apresenta a resposta do modelo quanto à quantidade de furos (2, 6 ou 10 furos) em uma mesma peça. Observa-se que o custo de matéria-prima que tem maior contribuição quando se tem menor quantidade de furos, decresce com o aumento destes na alternativa de furação por escoamento (ausência de porcas).

O mesmo acontece ao analisar peças de menores dimensões (comprimento e largura), onde os custos das porcas (utilizadas na furação convencional) têm maior influência no custo total de matéria-prima. Verifica-se que o aumento da quantidade destas (e também de furos) resulta em maiores diferenças entre as duas alternativas.

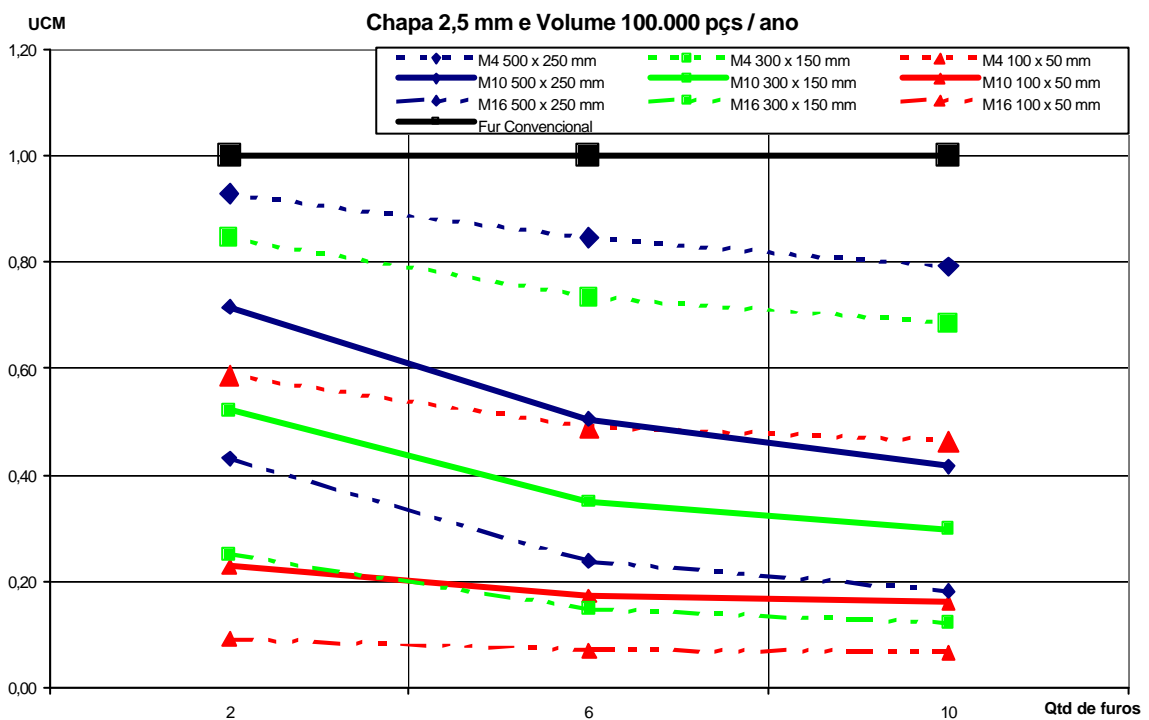


Figura 24 - Sensibilidade do modelo - quantidade de furos x custo.

Na Figura 25, cuja abcissa contém os volumes de produção (1000, 10000 e 100000 peças / ano) observa-se novamente que para pequenos volumes anuais de produção, os custos de manufatura são os mais influentes, sendo que no caso de roscas menores (e.g. M4), os custos da alternativa de furação por escoamento são até mais elevados que os custos da furação convencional, resultado dos maiores custos de aquisição de equipamentos e ferramentas. Observa-se também que para chapas de maiores dimensões (300 x 150 e 500 x 250 mm), o custo de matéria-prima aumenta principalmente na alternativa de furação convencional (porcas adicionais), o que resulta em uma influência um pouco menor dos custos de manufatura.

Adicionalmente, para maiores volumes anuais de produção, os custos de matéria-prima têm maior influência nos valores obtidos (pois os custos de depreciação dos equipamentos e ferramentas são rateados pelas quantidades), resultando em maiores custos para a alternativa de furação convencional (que utiliza porcas). Também pode-se observar que para peças com maiores dimensões (300 x 150 e 500 x 250 mm), este efeito se repete.

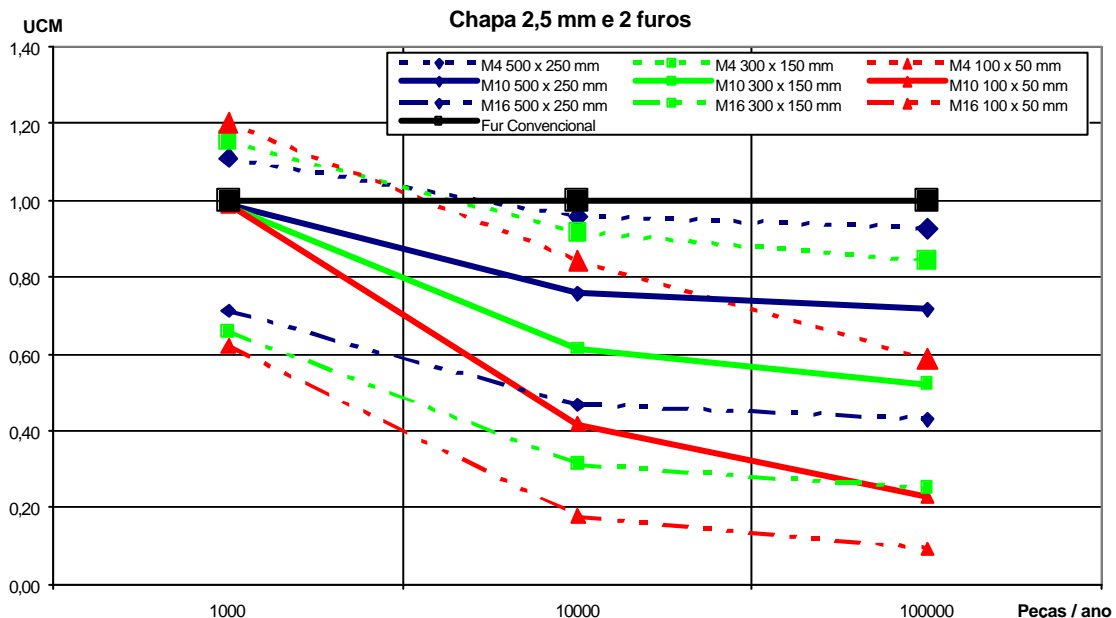


Figura 25 - Sensibilidade do modelo – volume anual de sistemas de fixação x custo.

Conforme exposto acima, o modelo capta a disponibilidade de ferramentas, as variações de dimensões e espessuras das chapas, as quantidades de furos ou porcas, os custos de equipamentos e ferramentas, e os volumes anuais de produção. Pode-se afirmar, portanto, que o modelo proposto tem a sensibilidade adequada para as diversas variações resultantes das especificações de entrada fornecidas pelo projetista.

4.2 Aplicação do modelo para validação em um caso real

Para verificar se o modelo proposto representa a realidade, foram feitos experimentos com um sistema de fixação real com as duas alternativas consideradas no modelo Pro-Comp (*i.e.* furação convencional e furação por escoamento), as quais foram comparadas com os resultados do modelo computacional do modelo.

O Sistema de Fixação escolhido é utilizado na montagem dos pára-lamas dianteiros de dois modelos de caminhões (Volvo FH e FM)¹², nos quais se utiliza um total de 8 (oito) conjuntos por veículo. O volume anual de produção é de 48.000 conjuntos. A manutenção deste componente não é definida por projeto. Assim, para efeitos de cálculos será considerada como sendo anual.

Pretende-se realizar um experimento piloto para conhecimento das variáveis e dos processos envolvidos na seqüência. Após, serão realizadas pelo menos mais três repetições das etapas sendo que os dados obtidos nestas serão comparados aos do programa piloto.

Os experimentos foram realizados nas fases de Manufatura, Montagem e Manutenção. A fase de Aquisição e Estocagem não foi realizada na prática devido ao elevado volume diário de sistemas de fixação, e à similaridade dos custos comparativos resultantes entre a simulação (modelo Pro-Comp) e a realidade na

¹² A Volvo do Brasil, fabricante de caminhões e chassis de ônibus, forneceu diversas informações e autorizou o uso neste trabalho.

indústria (experimento), mas estes custos estão considerados conforme apresentado a seguir:

1. O custo de aquisição e estocagem das chapas pré-cortadas e porcas está considerado conforme exposto no APÊNDICE C.
2. Na fase da manufatura foi executada a furação pelos dois processos das chapas pré-cortadas e a conformação da rosca, conforme detalhes no APÊNDICE C.
3. A fase da montagem consiste em montar as peças em bancada simulando a condição real. Modelo da bancada está na Figura 28. Detalhamento das operações encontra-se no APÊNDICE C.
4. A manutenção é feita com a desmontagem e posterior montagem do conjunto na bancada (Figura 28), simulando a condição do cliente.

Os experimentos consistem basicamente em analisar os processos de manufatura, montagem e manutenção do sistema de fixação convencional e compará-los ao processo proposto, por meio de trabalhos a serem feitos em chapas de aço ABNT 1020 com espessura de 3,35 mm, conforme Figura 26. Estas chapas são fixadas aos demais componentes do sistema de fixação com porcas flangeadas M8x1,25, e parafusos flangeados M8x1,25 (processo atualmente utilizado), e utilizando-se somente parafusos flangeados (alternativa de furação por escoamento seguida por rosqueamento por conformação), conforme Figura 27.

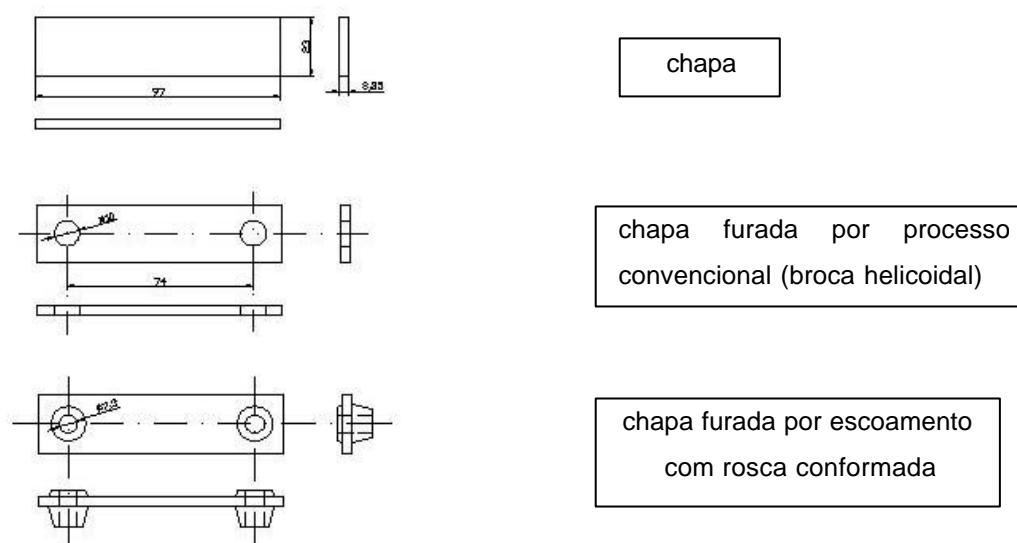


Figura 26 - Chapa a ser furada.

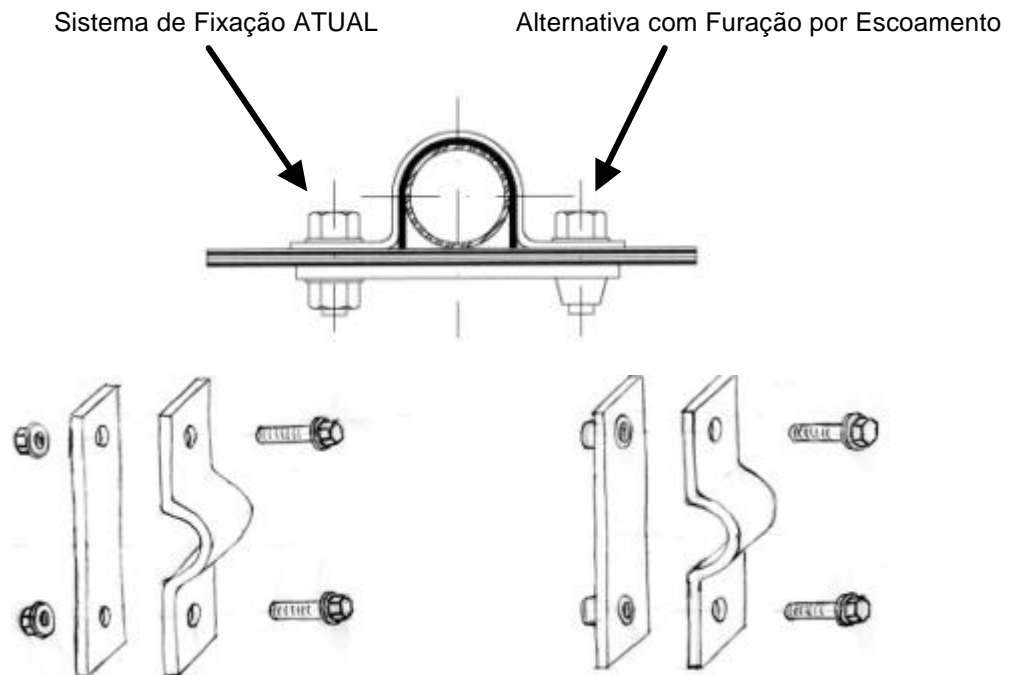


Figura 27 - Conjunto da chapa e sistemas de fixação comparados.

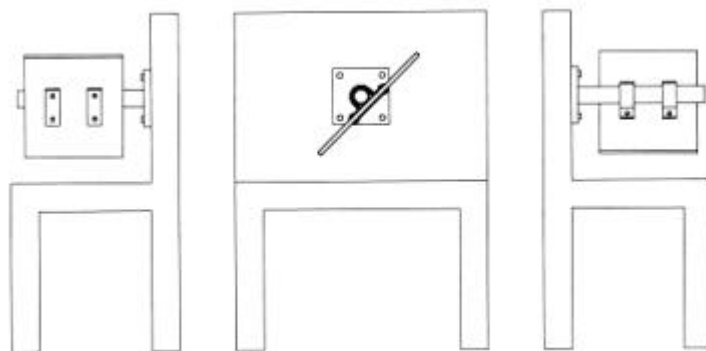


Figura 28 - Esboço da bancada a ser utilizada para o experimento nas fases de montagem e manutenção.

Na Figura 29 estão fotos feitas durante os experimentos na fase de manufatura, onde pode-se observar a furadeira utilizada, e as operações de furação com broca, furação por escoamento e a conformação de roscas.



Figura 29 - Execução da furação por escoamento e convencional.

Na Figura 30 estão fotos feitas durante a montagem e manutenção do sistema de fixação no pára-lamas (em bancada).



Figura 30 - Pré-montagem e montagem do conjunto em bancada durante o experimento.

Na Figura 31 estão as duas alternativas dos sistemas de fixação estudadas neste trabalho. Observa-se no conjunto da esquerda a alternativa atualmente utilizada (com as porcas) e na esquerda a alternativa que contém a chapa furada por escoamento com roscas nas buchas (sem a necessidade de porcas).

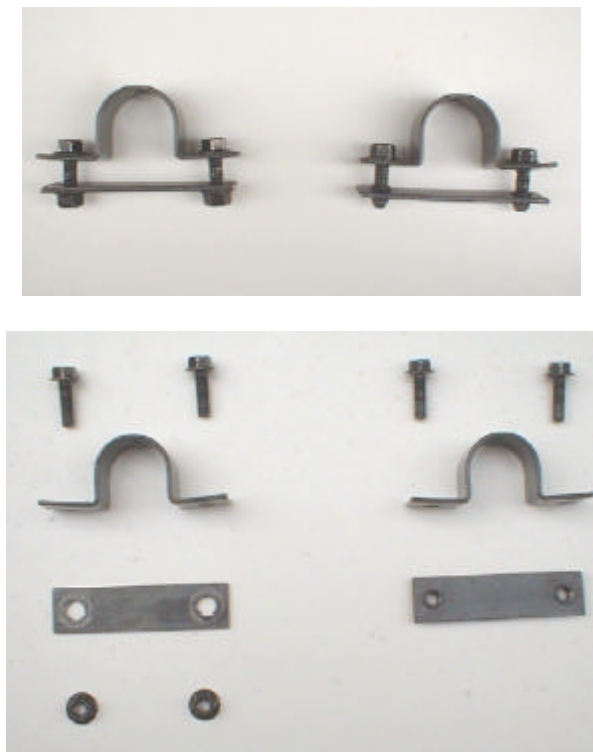


Figura 31 - Sistema de fixação atual e alternativa.

As observações feitas neste caso real, conforme APÊNDICE C, são resumidas nas Tabela 30 e Tabela 31:

Tabela 30 - Resultados dos cálculos de custos (experimento).

		Furação Convencional (UM)	Furação por Escoamento (UM)
Aquisição e estocagem	KAE	1.1220	0.2788
	KMP	1,1180	0,2788
	KEspaçoEMBPorcás	0,0039	
	KFEMBPorcás	0,0001	
Manufatura	KMA	4.0140	1.2778
	KFEQUIP	0,2242	0,3448
	KVEQUIP	0,0047	0,0138
	KMOD	0,5500	0,5886
	KFL		0,1797
	KMC		0,0435
	KBRO	0,0287	
	KESC	0,0132	
	KEspaçoEMBSucata	0,0039	
	KFEMBSucata	0,0001	
	KAUXFL		0,1042
	KAUXMC		0,0032
	KAUXBRO	3,1496	
Montagem	KM	0.1442	0.0222
	KMOM	0,1401	0,0222
	KFFMON	0,0001	
	KEspaçoEMBPorcás	0,0039	
	KFEMBPorcás	0,0001	
		(UM / ano)	(UM / ano)
Manutenção Anual	KMC	13,6268	6,7381
	KMOC	0,5168	0,1791
	KFFCL	13,1180	6,5590

Tabela 31 - Resultados dos cálculos de tempos (experimento).

		Furação Convencional (s)	Furação por Escoamento (s)	
Manufatura	Instalar ferramenta	tiFL	0,0009	
		tiMC	0,0012	
		tiBRO	0,0121	
		tiESC	0,0006	
	Preparar equipamento	tpeFL		0,3600
		tpeMC		0,4824
		tpeBRO	4,8240	
		tpeESC	0,2400	
	Colocar peça	tcpFL		
		tcpMC		
		tcpBRO		
		tcpESC		
	Aproximação	tapFL		
		tapMC		
tapBRO				
tapESC				
Execução	texFL			
	texMC			
	texBRO			
	texESC			
Afastamento	tafFL			
	tafMC			
	tafBRO			
	tafESC			
Mudar peça	tmpFL			
	tmpMC			
	tmpBRO			
	tmpESC			
Retirar peça	trpFL			
	trpMC			
	trpBRO			
	trpESC			
Limpeza	tlFL		0,0000	
	tlMC		0,0000	
	tlBRO	4,4000		
	tlESC	3,5750		
Operação	topFL		36,0000	
	topMC		21,0000	
	topBRO	23,0000		
	topESC	18,0000		
Equipamentos	ttotFL		36,3609	
	ttotMC		21,4836	
	ttotBRO	32,2361		
	ttotESC	21,8156		
Total		54,0517	57,8445	
Montagem		13,67	2,17	
Manutenção	Desmontagem tmand	17,46	8,63	
	Montagem tmanm	13,67	2,17	
	Total	31,13	10,79	

Aplicando-se nos resultados anteriores o exposto na seção 3.3, tem-se:

Tabela 32 - Resultados comparativos dos cálculos de custos (experimento).

	Furação Convencional (UCM)	Furação por Escoamento (UCM)
Aquisição e estocagem (KAE)	0,21	0,05
Manufatura (KMA)	0,76	0,24
Montagem (KM)	0,03	0,00
Total do Sistema de Fixação	1,00	0,30
	(UCM / ano)	(UCM / ano)
Manutenção Anual (KMC)	1,00	0,49

Tabela 33 - Resultados comparativos dos cálculos de tempos (experimento).

	Furação Convencional (UCT)	Furação por Escoamento (UCT)
Manufatura	0,80	0,85
Montagem	0,20	0,03
Total do Sistema de Fixação	1,00	0,89
Manutenção	1,00	0,35

Assim, pode-se observar que os custos comparativos para a Aquisição, a Manufatura e a Montagem do sistema de fixação, obtidos durante os experimentos estudados são:

?? Processo atual (furação convencional) = 1,00 UCM

?? Processo de furação por escoamento com roscas conformadas = 0,30 UCM.

Os custos de Manutenção comparativos são respectivamente: 1,00 UCM / ano e 0,49 UCM / ano.

Por outro lado, aplicando-se as Especificações ou requisitos de entrada na ferramenta computacional que emula o modelo Pro-Comp, conforme Figura 32, obtêm-se os valores na saída (Figura 33).

Especificação do Sistema de Fixação		
Descrição da peça	Chapa	
Material da chapa	Aço 1020	
Espessura da chapa	3,35	mm
Comprimento da chapa	97	mm
Largura da chapa	23	mm
Dimensões da rosca	M08	
Quantidade de parafusos por conjunto	2	
Quantidade de conjuntos por período	48000	por ano
Necessidade de manutenções pelo cliente	1	por ano

Figura 32 - Especificações do caso real.

Resultados Comparativos		
CUSTOS (Unidade de Comparação Monetária)	Furação Convencional	Furação por Escocamento
Aquisição & Estocagem	0,19	0,05
Manufatura	0,79	0,19
Montagem	0,02	0,00
Custo Final do Sistema de Fixação	1,00	0,24
Custo de Manutenção pelo Cliente por ano	1,00	0,50
TEMPOS (Unidade de Comparação de Tempo)	Furação Convencional	Furação por Escocamento
Manufatura	0,81	0,70
Montagem	0,19	0,01
Tempo Final do Sistema de Fixação	1,00	0,71
Tempo para Manutenção por Sistema de Fixação	1,00	0,43

Figura 33 - Resultados Comparativos do caso real.

Da Figura 33, obtêm-se os custos comparativos para a Aquisição, a Manufatura e a Montagem do sistema de fixação, obtidos pelo modelo Pro-Comp que são:

?? Processo atual (furação convencional) = 1,00 UCM

?? Processo de furação por escoamento com roscas conformadas = 0,24 UCM.

Os custos de Manutenção comparativos são respectivamente: 1,00 UCM / ano e 0,50 UCM / ano.

Comparando-se os resultados do modelo Pro-Comp (Figura 33), com as observações feitas neste caso real (Tabela 32), observam-se algumas diferenças que a seguir são analisadas.

Os custos de Aquisição e Estocagem e de Montagem são bastante semelhantes, não sendo necessária uma avaliação, pois esta proximidade indica a validade do modelo proposto.

No caso dos custos de Manufatura, as diferenças encontradas são resultantes principalmente do menor consumo de óleo de corte observado durante o experimento para a furação convencional (12,5 ml / sistema de fixação) comparado ao valor utilizado no modelo Pro-Comp (15 ml / sistema de fixação, valor este obtido de observações feitas conforme APÊNDICE G), que resultou em menor custo na alternativa de furação convencional. Outro fato que contribuiu para reduzir mais os custos da alternativa furação convencional foram os tempos reais de operação dos equipamentos, quando ocorreram aumentos de quase todos os tempos quando comparado aos tempos definidos no modelo Pro-Comp (furação convencional + 7 s, furação por escoamento + 12 s, e conformação da rosca + 4 s). Estas diferenças ocorreram provavelmente pela dificuldade de se reproduzir em um processo manual os parâmetros de operação descritos em bibliografias (ou recomendados pelos fabricantes), e pela falta de experiência dos operadores com as novas alternativas aqui apresentadas (furação por escoamento e conformação de roscas). A diferença entre os resultados das fases de Aquisição, Manufatura e Montagem do experimento (caso real) e do modelo foi de 0,06 UCM ($0,30 \times 0,24$ UCM), ou 25%, conforme Tabela 32 e Figura 33.

Os custos de Manutenção pelo cliente também apresentaram diferenças, sendo que aqui a vantagem foi para a alternativa de furação por escoamento. A causa da diferença foi a maior facilidade de se fazer a montagem e a desmontagem dos sistemas de fixação em uma simulação de produto final pronto, no caso da

alternativa de furação por escoamento (redução de mais de 3 s), comparando-se à furação convencional (utilização de chave combinada adicional e porcas), que teve uma redução no tempo de quase 2 s. Mesmo assim, a diferença entre o caso real e o modelo foi de 0,01 UCM / ano, ou 2%, conforme Tabela 32 e Figura 33.

Considerando-se o acima exposto, e que as diferenças entre os resultados finais do modelo Pro-Comp e do caso real não alteraram a vantagem de uma das alternativas (no caso a furação por escoamento seguida de rosqueamento por conformação), pode-se, neste caso afirmar que o modelo poderia ser aplicado pelo projetista.

4.3 Validação da hipótese

Considerando-se que o modelo proposto foi testado e validado conforme exposto na seção 3.6, que a análise de sensibilidade feita na seção 4.1 indica que o modelo capta as diversas variações na especificação (entrada de dados feita pelo projetista) e ainda, que os resultados do modelo são bastante próximos da realidade conforme seção 4.2, pode-se considerar que o modelo Pro-Comp permite ao projetista definir a melhor opção de projeto para sistemas de fixação desmontáveis em chapas finas de aço sob o ponto de vista econômico.

4.4 Conclusão sobre o modelo proposto

O modelo Pro-Comp pode ser utilizado imediatamente por projetistas para casos similares. Entretanto, sugere-se que os dados e informações que compõem o modelo devem ser alterados para a realidade de cada empresa, pois aqui as considerações estão limitadas para a região Sul do Brasil, sendo que alguns custos refletem a realidade da cidade de Curitiba.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

5.1 CONCLUSÕES

As contribuições resultantes deste trabalho podem ser divididas em três grupos:

1. Revisão da literatura
2. Modelo
3. Ferramenta computacional

A literatura apresentada sobre custos e processos de fabricação – históricos e conseqüências, não foi esgotada neste trabalho, sendo que estas bibliografias e o material resultante deste trabalho podem servir como porta de entrada para novas pesquisas no campo de estimativas de custos de produtos devido à sua consideração mais abrangente que as demais publicações existentes. Este trabalho também pode servir como informativo sobre os assuntos tratados.

O modelo proposto é inédito, e a estimativa de custos nas fases iniciais de desenvolvimento de produtos está se tornando cada vez mais importante para as empresas, sob o ponto de vista redução de custos e também sob a ótica de agilidade quanto às rápidas mudanças de mercado. O ciclo de vida dos produtos está diminuindo constantemente, e as decisões do projetista são cada vez mais importantes para o resultado final das empresas. O modelo é concebido para ser utilizado nas fases iniciais do desenvolvimento de produtos.

Este modelo é único também no que se refere à preocupação com o cliente final (que é quem mantém a empresa fabricante – é o cliente quem paga o produto), pois os custos de Manutenção durante a vida do produto são quase sempre esquecidos pelo projetista na definição do projeto, o que pode prejudicar a imagem do produto junto aos clientes.

A base de dados do modelo está fundamentada em extensa bibliografia, informações de diversos fornecedores, e observações feitas durante este trabalho (devido à inexistência de informações, ou informações muito conflitantes).

O modelo comporta-se bem com as diversas variações nos requisitos de entrada, conforme apresentado nos gráficos de sensibilidade. Observa-se que o modelo capta estas variações, fornecendo resultados condizentes com a disponibilidade de equipamentos e ferramentas, dimensões das roscas ou furos, as variações nas dimensões das chapas (espessura, largura e comprimento), nas quantidades de furos e nos volumes anuais de produção.

A ferramenta computacional Pro-Comp desenvolvida conforme modelo proposto (com os parâmetros, dados e informações obtidos de diversas fontes), visa agilizar os cálculos a serem feitos pelo projetista. Os dados de entrada no modelo são os requisitos de projeto definidos pelo próprio projetista.

Analisando os resultados obtidos pela aplicação do modelo (validação teórica, validação em um caso real e análise de sensibilidade), observa-se que a furação por escoamento é uma alternativa com boas possibilidades de redução de custos para as indústrias, conforme várias citações bibliográficas reproduzidas neste trabalho, sendo que este trabalho mostra que os resultados econômicos para o cliente (manutenção) são ainda mais interessantes. Nos gráficos apresentados no Capítulo 4, observa-se que o sistema de fixação que utiliza a alternativa de furação por escoamento seguida pelo rosqueamento por conformação, possui menor custo que a alternativa que utiliza a furação convencional quando se aumenta a dimensão das roscas, e/ou a quantidade de furos, e/ou o volume anual de produção.

Os resultados obtidos pelo modelo, quando comparado com um caso real, são bastante próximos, o que indica a possibilidade de ser aplicado imediatamente em análises comparativas. Isto, deve-se ao fato de que as fontes bibliográficas pesquisadas são válidas, assim como as informações obtidas junto aos diversos fornecedores, e as observações feitas durante os vários experimentos são consistentes, podendo ser reproduzidas por outro pesquisadores.

5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para futuros trabalhos, percebe-se a oportunidade de aplicar os conceitos e o modelo aqui propostos para chapas grossas, tubos e outros perfis, que também têm ampla aplicação na indústria em geral. Com algumas alterações nos componentes

do banco de dados e nas equações utilizadas, o modelo poderá ser aplicado em sistemas de fixação que utilizam tubos e outros perfis como elemento base do sistema.

Sugere-se também ampliar o modelo proposto para furos de diâmetros diferentes em uma mesma peça.

Desenvolver mais a ferramenta computacional proposta (Pro-Comp), permitindo que o banco de dados seja dinâmico, e permita fazer alterações específicas para cada empresa.

Aplicar o modelo em outros casos reais existentes e para novos projetos, visando verificar a usabilidade do mesmo pelos projetistas.

REFERÊNCIAS

- AMSTEAD, B.H.; OSTWALD, P.E.; BEGEMAN, M.L. **Manufacturing Processes**. 8th ed. USA: John Wiley & Sons, 1986. 688 p.
- ANDREASEN, M.M.; KAHLER, S.; LUND, T.; SWIFT, K.G. **Design for Assembly**. 2nd ed. United Kingdom: IFS Publications, 1988. 212 p.
- BARNES, R. M. **Estudo de movimentos e de tempos: Projeto e medida de trabalho**. 6^a ed. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda., 1995. 635 p.
- BIBLIOTECA VIRTUAL DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA - **Ferramenta pode reduzir custos de produção**. Gazeta Mercantil do Ceará. 10/maio/2001. Disponível em: <http://www.finep.gov.br/bv/noticias/ferramenta.htm>. Acesso: 27 junho 2001.
- BOOTHROYD, G.; DEWHURST, P.; KNIGHT, W. **Product Design for Manufacture and Assembly**. New York: Marcel Dekker Inc., 1994. 540 p.
- BRALLA, J.G. et al. **Handbook of Product Design for Manufacturing**. Singapore: McGraw-Hill Book Co., 1988. 1049 p.
- CASAROTTO FILHO, N.; KOPITKE, B.H. **Análise de Investimentos**. 9^a ed. São Paulo: Editora Atlas S.A., 2000. 458 p.
- DAETZ, D. The Effect of Product Design on Product Quality and Product Cost. **Quality Progress**. p. 63-67, June 1987.
- DEGARMO, E.P. **Materials & processes in manufacturing**. 4th ed. New York: Macmillan Publishing Co. Inc., 1974. 982 p.
- DELOITTE TOUCHE TOHMATSU. **Pesquisa de salários e benefícios – Cargos técnicos, administrativos e operacionais**. Novembro 2002.
- DIAS, A.M. de P.; SOARES, S.R.; SCHROETER, R.B.; WEINGAERTNER, W.L.; TEIXEIRA, C.R. Aspectos nocivos de fluidos de corte utilizados em processos convencionais de usinagem. In: 1^o COBEF, 2001, Curitiba. **Anais ...** 2001. 6 p.

DOYLE, L.E.; MORRIS, J.L.; SCHRAEDER, G.F.; LEACH, J.L. **Processos de fabricação e materiais para Engenheiros**. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda., 1962. 639 p.

DRABUS. **Homepage do fabricante**. Disponível em: <http://www.drabus.com>. Acesso: 27 junho 2001.

EUROPEAN PATENT OFFICE (esp@cenet). **Homepage da entidade**. Disponível em: <http://ep.espacenet.com>. Acesso: 5 novembro 2001.

FANTIN, J.P. Ensaio com machos: em busca de bons resultados na usinagem. **Máquinas e Metais**. São Paulo, n. 320, p. 58-60, set. 1992.

FERRARESI, D. **Usinagem dos metais – Fundamentos da usinagem dos metais**. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda., 1970. 754 p.

FLIESSLOCHFORMEN Und Gewindefurchen (Flowdrill thermodrilling and cold Forming tapping). Produção de Carmen Flick e Wolfgang Kuhn. Siegen: AVMZ, 1986. 1 videocassete (21 min.): VHS - NTSC, sonorizada, color. Traduzido para o inglês por F. Machining Co. Illinois, USA. Comercial. Inglês.

FLOWDRILL? : Guia Técnico. Flowdrill B.V. - Utrecht, Holanda. 3^a ed. set. 1995. 32 p.

FLOWDRILL? : User guide. Flowdrill B.V. - Utrecht, Holanda. 2000. 32 p.

FLOWDRILL. **Homepage do Fabricante**. Disponível em: <http://www.flowdrill.nl>. Acesso: 27 junho 2001.

FRANCO, H. **Contabilidade Geral**. 22^a ed. São Paulo: Editora Atlas S. A., 1990. 421 p.

HICKS, T. G. et al. **Standard Handbook of Engineering Calculations**. 2nd ed. New York: McGraw-Hill Inc., 1985.

MICHAELS, J.V.; WOOD, W.P. **Design to cost**. New York: John Wiley & Sons Inc., 1989. 413 p.

MIRANDA, G.W.A.; COPPINI, N.L.; BRAGA, D.U.; DINIZ, A.E. Contribuição ao processo de furação com brocas de metal-duro revestidas. In: 1º COBEF, Curitiba, 2001. **Anais ... 2001**. 8 p.

MOREIRA, A. L. **Princípios de Engenharia de Avaliações**. 4ª. ed. São Paulo: Editora Pini Ltda., 1997. 504 p.

NOVOSEL, T. Tapping without chips. **American Machinist**. p. 103-105, October 1975.

OSG Ferramentas: Informações de Produtos – Ferramentas de Precisão Vol I. OSG Ferramentas de Precisão Ltda. São Paulo. [2001?].

OVERY, K. Flowdrilling – bush formation in thin metal. **CME**, p.70-73, July 1978.

RECEITA FEDERAL – Secretaria da Fazenda. **Homepage da empresa**. <<http://www.receita.fazenda.gov.br>>. Acessado em 15 de setembro de 2003.

REHMAN, S.; GUENOV, M.D. A methodology for modeling manufacturing costs at conceptual design. **Computers Ind. Engineering**. Great Britain, vol.35, no.3-4, p.623-626, 1998.

SANTOS, S.C.; SILVA, M.B. da. O processo de furação diante das tendências de evolução dos processos de usinagem. In: 1º COBEF, Curitiba, 2001. **Anais ... 2001**. 8 p.

SKF Ferramentas: Manual Técnico. SKF Ferramentas S.A. São Paulo.1987. 261 p.

STARK, J.W.B. Connections in cold-formed sections. **Sheet Metal Industries**. p. 108-119, February 1977.

TOLEDO JR., I. F. B. **Cronoanálise – Base da racionalização, da produtividade, da redução de custos**. São Paulo: Itys-Fides Bueno de Toledo Jr. & Cia. Ltda., 1986. 205 p.

UNIMEX NV. **Homepage do fabricante**. Disponível em: <<http://www.formdrill.com>>. Acesso: 27 junho 2001.

USPTO – United States Patent & Trademark Office. **Homepage da entidade.** Disponível em: <<http://www.uspto.gov>>. Acesso: 14 dezembro 2001.

VALE, C. E. **Implantação de Indústrias.** Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S. A., 1975. 354 p.

VIANNA, C.S.V. **Manual Prático das relações trabalhistas.** 4^a ed. São Paulo: Editora LTR Ltda., 2000. 904 p.

WALKER, M. Cost-Effective Product Development. **Long Range Planning.** Great Britain, vol.26, p.64-66, 1993.

WEINGAERTNER, W.L.; LOPES, J.C.O.; SILVA, D.C. da; CRUZ, M.A.A. Fabricação de roscas internas conformadas em buchas escoadas. In: COBEM, XIII, 1995, Belo Horizonte. **Anais...** 1995a. 4 p.

WEINGAERTNER, W.L.; LOPES, J.C.O.; SILVA, D.C. da; TIKAL, F.; HEILER, R. Furação de chapas por escoamento: uma nova tecnologia de fabricação. **Máquinas e Metais.** São Paulo, n. 368, p. 85-97, set. 1996.

WEINGAERTNER, W.L.; LOPES, J.C.O.; SILVA, D.C. da; TIKAL, F.; HEILER, R. Rosqueamento por conformação: uma alternativa economicamente viável para muitas aplicações. **Máquinas e Metais.** São Paulo, n. 372, p. 103-114, jan. 1997.

WEINGAERTNER, W.L.; LOPES, J.C.O.; DUARTE FILHO, O.C.; OSIS, H. Furação por escoamento. In: COBEM, XIII, 1995, Belo Horizonte. **Anais...** 1995b. 4 p.

WEINGAERTNER, W.L.; LOPES, J.C.O.; PETRY, S.L.L.; SOUZA, G.I. Uma comparação entre o rosqueamento convencional e o rosqueamento por conformação. In: COBEM, XIII, 1995, Belo Horizonte. **Anais...** 1995c. 4 p.

WEINGAERTNER, W.L.; SCHROETER, R.B.; TEIXEIRA, C.R. Influência do tipo de fluido de corte no comportamento da temperatura nas brocas DIN 338. In: 1º COBEF, Curitiba, 2001. **Anais ...** 2001. 9 p.

WEUSTINK, I.F.; TEN BRINKE, E.; STREPPPEL, A.H.; KALS, H.J.J. A generic framework for cost estimation and cost control in product design. **Journal of Materials Processing Technology**. n.103, p.141-148, 2000.

YOSHIDA, A. **Ferramenteiro (Corte-Dobra-Repuxo)**. São Paulo: L. Oren Ltda., 1979. 223 p.

APÊNDICE A - FURAÇÃO POR ESCOAMENTO - HISTÓRICO

Furação por escoamento, *taladrado por fluencia*, *thermal drilling*, *flowdrilling* e *Fließlochformen* são alguns nomes encontrados para este processo.

Por ser um processo relativamente novo, não muito conhecido nos meios acadêmicos e industriais, cabem aqui algumas considerações.

A Figura 34 contém os principais fabricantes e a seção transversal das ferramentas utilizadas na atualidade.

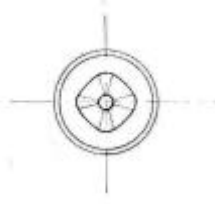
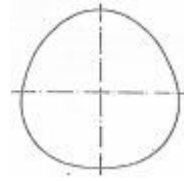
Produto	Fabricante	País	Seção transversal
Flowdrill? System	Flowdrill BV	Holanda	 <p>4 lóbulos</p>
Unimex Formdrill	Unimex NV	Bélgica	
Drabus Frictiondrill	Drabus	Bélgica	 <p>3 lóbulos</p>
Zecha Centerdrill	Zecha	Alemanha	

Figura 34 - Seção transversal das ferramentas para furação por escoamento.

A Figura 35 apresenta informações das patentes relacionadas ao processo, procurando mostrar a evolução da ferramenta utilizada para a furação por escoamento, (*European Patent Office, 2001*) e (*USPTO, 2001*).

Na Figura 36 estão relacionados os responsáveis por pesquisas e desenvolvimentos feitos no Brasil e no restante do mundo.

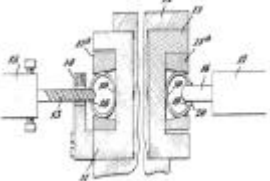
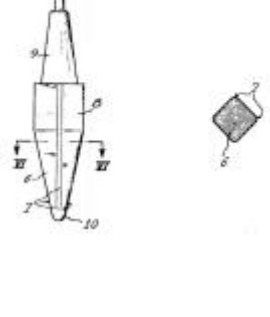
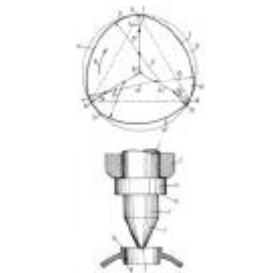
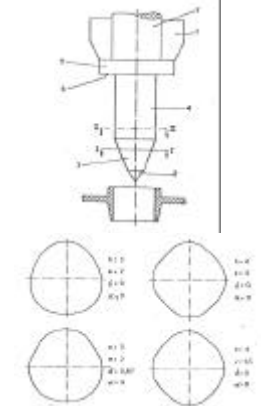
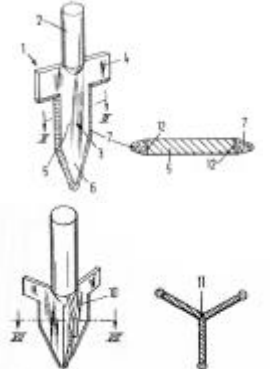
Data	Autor	No. da Patente	Descrição	Desenho
1929	Winford L. Enghauser	US 1813152 US 1906953	Processo de furação com ferramenta cilíndrica e máquina para aplicações em tubos de aço maleável com parede fina.	
1957	Armand Leroy (Houillères du Bassindu Nord & du Pas-de-Calais)	FR 1189384	Processo de furação com ferramenta de ponta arredondada e de seção poligonal (4 lados e cantos arredondados) progressiva (ponta cônica e corpo de acabamento do furo cilíndrico) para aplicações em chapas e tubos metálicos. Ferramenta em aço com tratamento especial e metal duro.	
1972 1974	Johannes Adrianus Van Geffen	GB 1455276 GB 1493292	Ferramenta com perfil progressivo (cônico-cilíndrico) e seção trilobular feita em metal duro.	
1981 (fev.)	Aloysius Joseph Hoogenboom (Flowdrill)	EP 0057039	Ferramenta com perfil progressivo cônico-cilíndrico e seção transversal poligonal (com "n" lóbulos).	
1981 (nov.)	Marius Hendrik Lubbers (Drabus)	GB 2107626	Ferramenta com seção transversal plana e ferramenta com três lâminas.	

Figura 35 - Patentes relacionadas com a furação por escoamento, (European Patent Office, 2001) e (USPTO, 2001).

No mundo			No Brasil	
Valliere	1923	Franca		
Inventor do processo				
Enghauser	1929	USA		
Desenvolveu ferramenta				
Leroy	1957	Franca		
Desenvolveu ferramenta				
Van Geffen	1972	Holanda		
Desenvolveu ferramenta				
Kretschmer	1977	Alemanha		
Pesquisas				
Overy	1978	Inglaterra		
Pesquisas				
Hoogenboom	1981	Holanda		
Desenvolveu ferramenta (Flowdrill)				
Lubbers	1981	Bélgica		
Desenvolveu ferramenta (Drabus)				
Koenig	1981	Alemanha		
Pesquisas				
Streppel & Kals	1983	Alemanha		
Pesquisas				
Dekkers	1988	Holanda		
Pesquisas				
			Weingaertner & Lopes	1992
			Pesquisas	
Tikal & Heiler	1994	Alemanha		
Pesquisas				
			Duarte Filho & Osis	1995
			Pesquisas	
			Da Silva	1996
			Pesquisas	
			Oliveira & Eckhardt	1999
			Pesquisas	

Figura 36 - Marcos históricos da furação por escoamento.

APÊNDICE B - ROSQUEAMENTO POR CONFORMAÇÃO - HISTÓRICO

Rosqueamento por conformação, *flowtapping* e *Gewindefurchen* são denominações deste processo.

Na Figura 37 estão relacionados os principais acontecimentos e pesquisadores deste processo.

No mundo			No Brasil	
Primeiras pesquisas	1940	(?)		
Vermont Tap & Die Co. Primeira ferramenta	1957	USA		
Nelis Pesquisas	1962	USA		
Kretschmer Pesquisas	1966	Alemanha		
Jaeger Pesquisas	1970	Alemanha		
Ryzhov Pesquisas	1971	(?)		
Menshakov Pesquisas	1971	(?)		
Novosel Pesquisas	1975	USA		
Oxford Pesquisas	1984	Inglaterra		
Fantin Pesquisas	1992	França		
			Da Silva & Cardoso Filho Pesquisas	1993
			Weingaertner & Lopes Pesquisas	1994
			Petri, Souza & Cruz Pesquisas	1995
			Duarte Filho Pesquisas	1997
			Leme Pesquisas	1997

Figura 37 - Marcos históricos do rosqueamento por conformação.

APÊNDICE C - CONJUNTO ESCOLHIDO PARA EXPERIMENTOS

Após os equipamentos e ferramentas estarem dispostos nos seus devidos espaços, seguem-se as etapas dos experimentos efetivos conforme plano a seguir:

C.1 Fase de aquisição e estocagem

Composta por aquisição, recebimento, identificação e estocagem das chapas cortadas. Utilizando-se os valores apresentados no ANEXO E.

Custo da chapa $C_{\text{Chapa}} = 0,2788 \text{ UM}$

Custo de cada porca $C_{\text{Porca}} = 0,4196 \text{ UM}$

Quantidade de porcas $Q_{\text{Porcas}} = 2$

Para a estocagem das porcas e chapas utiliza-se as embalagens de tamanho Pequeno, em função do volume diário de porcas, calculado conforme APÊNDICE F.

Aplicando-se as equações da seção 3.4 e os dados do ANEXO E, considerando o volume anual de sistemas de fixação utilizados ($Q_{\text{SF}} = 48000$), tem-se:

$K_{\text{MPFConvencional}} = 0,2788 + 0,4196 \times 2 = 1,1180 \text{ UM}$

$K_{\text{MPFescoamento}} = 0,2788 \text{ UM}$

$A_{\text{EMBPorcas}} = 0,28 \text{ m}^2$

$Q_{\text{EMBPorcas}} = 1$

$K_{\text{EspaçoEMBPorcas}} = 1 \times 0,28 \times 668,71 / 48000 = 0,0039 \text{ UM}$

$C_{\text{EMBPorcas}} = 16,08 \text{ UM}$

$K_{\text{FEMBPorcas}} = 1 \times 16,08 \times 0,35 / 48000 = 0,0001 \text{ UM}$

Assim, nesta fase obtém-se:

$$KAE_{F\text{Convencional}} = 1,1180 + 0,0039 + 0,0001 = 1,1220 \text{ UM}$$

$$KAE_{F\text{Escoamento}} = 0,2788 \text{ UM}$$

C.2 Fase de manufatura

É a fase em que as chapas serão furadas e rebarbadas, no caso do processo de furação convencional, ou, furadas por escoamento e rosqueadas por conformação na alternativa aqui comparada.

Os valores apresentados foram obtidos durante experimentos práticos pela média de seis peças em cada uma das alternativas.

Furação Convencional

O ciclo de Operação consiste em: i) pegar a chapa na embalagem; ii) posicionar para o furo 1; iii) furar; iv) posicionar a chapa para o furo 2; v) furar; e vi) retirar a chapa e colocar na embalagem.

Diâmetro da Broca = 10 mm

Velocidade da ferramenta = 450 rpm

Tempo de operação = 23 segundos

Consumo de fluido de corte = 12,5 ml

Tempo para limpar o equipamento = 16 minutos

Escareação

O ciclo de Operação consiste em: i) pegar a chapa na embalagem; ii) posicionar para o furo 1; iii) escarear; iv) posicionar a chapa para o furo 2; v) escarear; vi) virar a chapa; vii) posicionar para o furo 1; viii) escarear; ix) posicionar a chapa para o furo 2; x) escarear e xi) retirar a chapa e colocar na embalagem.

Diâmetro do Escareador = 20 mm

Velocidade da ferramenta = 210 rpm

Tempo de operação = 18 segundos

Consumo de fluido de corte = 0 ml

Tempo para limpar o equipamento = 13 minutos

Furação por Escoamento

O ciclo de Operação consiste em: i) pegar a chapa na embalagem; ii) posicionar para o furo 1; iii) furar; iv) posicionar a chapa para o furo 2; v) furar; e vi) retirar a chapa e colocar na embalagem.

Diâmetro da ferramenta = 7,3 mm

Velocidade da ferramenta = 3600 rpm

Tempo de operação = 36 segundos

Consumo de pasta = não medido

Tempo para limpar o equipamento = 0 minutos

Rosqueamento por Conformação

O ciclo de Operação consiste em: i) pegar a chapa na embalagem; ii) posicionar para a rosca 1; iii) fazer rosca; iv) posicionar a chapa para a rosca 2; v) fazer a rosca; e vi) retirar a chapa e colocar na embalagem.

Diâmetro do Macho de Conformação = M8

Velocidade da ferramenta = 350 rpm

Tempo de operação = 21 segundos

Consumo de óleo para rosqueamento = não medido

Tempo para limpar o equipamento = 0 minutos

Durante os experimentos utilizou-se um equipamento único para todas as alternativas, o qual atendeu as necessidades técnicas deste experimento, sendo que

os parâmetros de operação utilizados foram os definidos pelos fabricantes ou bibliografias, o que não altera os resultados das operações no que se refere aos tempos. Esta opção foi feita devido à inviabilidade econômica de se adquirir os vários equipamentos (furadeiras e rosqueadeiras) para a realização dos experimentos. Para que os valores dos custos de equipamentos no experimento possam ser comparados ao modelo, considera-se aqui os custos fixos e demais dados conforme proposto no modelo. Assim, aplicando-se as equações da seção 3.4, os dados do ANEXO F, e os parâmetros de operação definidos pelos fabricantes ou bibliografias, obtêm-se os valores apresentados na Tabela 34:

Tabela 34 - Equipamentos utilizados para caso real.

			Furadeira para brocas	Furadeira para Escarteação	Furadeira para Escoamento	Rosqueadeira
Modelo			F2	FR1	FE2	R1
Área	A	m ²	2,85	1,86	2,85	1,86
Custo	C _{Equip}	UM	18.545,45	10.728,67	29.305,28	22.237,76
Potência	N _{Eq}	kW	0,525	0,375	1,5	0,375

Obtendo-se:

$$K_{FEQUIPFConvencional} = (2,85 \times 668,71 + 18545,45 \times 0,26 + 1,86 \times 668,71 + 10728,67 \times 0,26) / 48000 = 0,2242 \text{ UM}$$

$$K_{FEQUIPFESCOAMENTO} = (2,85 \times 668,71 + 29305,28 \times 0,26 + 1,86 \times 668,71 + 22237,76 \times 0,26) / 48000 = 0,3448 \text{ UM}$$

$$K_{VEQUIPFConvencional} = 23 \times (18545,45 / 88000 + 0,525 \times 0,524) / 3600 + 18 \times (10728,67 / 88000 + 0,375 \times 0,524) / 3600 = 0,0047 \text{ UM}$$

$$K_{VEQUIPFESCOAMENTO} = 36 \times (29305,28 / 88000 + 0,15 \times 0,524) / 3600 + 21 \times (22237,76 / 88000 + 0,375 \times 0,524) / 3600 = 0,0138 \text{ UM}$$

Sendo a quantidade de sistemas de fixação de 218,18 por dia (48000 / 220), o tempo para a limpeza dos equipamentos será:

$$t_{iFConvencional} = (16 \times 60 + 13 \times 60) / 218,18 = 7,9750 \text{ s}$$

Os demais tempos não produtivos são obtidos também pelas equações da seção 3.4, assim:

$$t_{iFFL} = 9 \times 2 / 20000 = 0,0009 \text{ s}$$

$$t_{iFMC} = 9 \times 2 \times 3,35 / 50000 = 0,0012 \text{ s}$$

$$t_{iFBRO} = 9 \times 2 \times 3,35 / 5000 = 0,0121 \text{ s}$$

$$t_{iFESC} = 9 \times 2 \times 10 / 300000 = 0,0006 \text{ s}$$

$$t_{peFL} = 3600 \times 2 / 20000 = 0,36 \text{ s}$$

$$t_{peMC} = 3600 \times 2 \times 3,35 / 50000 = 0,4824 \text{ s}$$

$$t_{peBRO} = 3600 \times 2 \times 3,35 / 5000 = 4,824 \text{ s}$$

$$t_{peESC} = 3600 \times 2 \times 10 / 300000 = 0,24 \text{ s}$$

Assim tem-se:

$$t_{tmFConvencional} = 0,0121 + 0,0006 + 4,824 + 0,24 + 7,9750 + 23 + 18$$

$$t_{tmFConvencional} = 54,0517 \text{ s}$$

$$t_{tmFEscoamento} = 0,0009 + 0,0012 + 0,36 + 0,4824 + 36 + 21$$

$$t_{tmFEscoamento} = 57,8445 \text{ s}$$

$$K_{MODFConvencional} = 54,0517 \times 36,63 / 3600 = 0,5500 \text{ UM}$$

$$K_{MODFEscoamento} = 57,8445 \times 36,63 / 3600 = 0,5886 \text{ UM}$$

$$K_{FL} = 1797,48 \times 2 / 20000 = 0,1797$$

$$K_{MC} = 324,76 \times 2 \times 3,35 / 50000 = 0,0435$$

$$K_{BRO} = 21,40 \times 2 \times 3,35 / 5000 = 0,0287$$

$$K_{ESC} = 198,36 \times 2 \times 10 / 300000 = 0,0132$$

$$K_{FERRFC} = 0,0287 + 0,0132 = 0,0419 \text{ UM}$$

$$K_{FERRFE} = 0,1797 + 0,0435 = 0,2232 \text{ UM}$$

$$K_{EMBSucata} = 1 \times 0,28 \times 668,71 / 48000 = 0,0039 \text{ UM}$$

$$K_{FEMBSucata} = 1 \times 16,08 \times 0,35 / 48000 = 0,0001 \text{ UM}$$

Utilizando-se as recomendações dos fabricantes quanto ao uso de materiais auxiliares no caso da furação por escoamento e rosqueamento por conformação, devido à dificuldade de medir a quantidade neste experimento (poucas peças), obtém-se:

$$K_{AUXFL} = 1041,96 \times 2 / 20000 = 0,1042$$

$$K_{AUXMC} = 160,84 \times 2 / 100000 = 0,0032$$

$$K_{AUXFE} = 0,1042 + 0,0032 = 0,1074 \text{ UM}$$

No caso da furação com brocas, o consumo observado foi de 12,5 ml por chapa, como o custo é de 251,75 UM / litro, tem-se:

$$K_{AUXFC} = 251,75 \times 12,5 / 1000 = 3,1496 \text{ UM}$$

Assim o custo final desta fase é:

$$K_{MAFC} = 0,2242 + 0,047 + 0,5500 + 0,0419 + 0,0039 + 0,0001 + 3,1469$$

$$K_{MAFC} = 4,0140 \text{ UM}$$

$$K_{MAFE} = 0,3448 + 0,0138 + 0,5886 + 0,2232 + 0,1074$$

$$K_{MAFE} = 1,2778 \text{ UM}$$

C.3 Fase de montagem

Fase que as peças serão montadas na bancada, simulando o processo utilizado na indústria, para a medição dos tempos necessários para o serviço.

O tempo de montagem foi obtido pela média de dois montadores, sendo que cada um realizou três vezes a montagem do conjunto completo do pára-lamas com cada alternativa, conforme Tabela 35.

Tabela 35 - Medição do tempo de montagem.

	F Convencional							F Escoamento								
Pré-montagem																
Pré-apertar parafuso 1	média							média								
Pré-apertar parafuso 2	0,00							1,17								
Pegar porca 1, posicionar no parafuso 1 e pré-apertar	2	2	2	3	1	2	2,00									0,00
Pegar porca 2, posicionar no parafuso 2 e pré-apertar	3	2	1	3	2	3	2,33									0,00
Tempo total da pré-montagem	5,00	4,00	3,00	6,00	3,00	5,00	4,33	3,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,17
Montagem																
Pegar chave combinada e posicionar na porca 1	6	3	3	5	4	3	4,00									0,00
Posicionar chave combinada na porca 2	5	3	3	4	2	3	3,33									0,00
Guardar chave combinada	2	2	2	2	2	2	2,00									0,00
Tempo total da montagem	13,00	8,00	8,00	11,00	8,00	8,00	9,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Tempo total por sistema de fixação para a MONTAGEM								13,67								2,17

$$S_{MON} = 36,89 \text{ UM / h}$$

$$t_{mFConvencional} = 13,67 \text{ s}$$

$$t_{mFESCOAMENTO} = 2,17 \text{ s}$$

Assim:

$$K_{MOMFConvencional} = 13,67 \times 36,89 / 3600 = 0,1401 \text{ UM}$$

$$K_{MOMFESCOAMENTO} = 2,17 \times 36,89 / 3600 = 0,0222 \text{ UM}$$

$$C_{FMON} = 18,74 \text{ UM}$$

$$K_{FFMONFConvencional} = 18,74 \times 0,35 / 48000 = 0,0001 \text{ UM}$$

$$K_{EspaçoEMBPorcas} = 1 \times 0,28 \times 668,71 / 48000 = 0,0039 \text{ UM}$$

$$K_{FEMBPorcas} = 1 \times 16,08 \times 0,35 / 48000 = 0,0001 \text{ UM}$$

Assim, o custo desta fase será:

$$KM_{FConvencional} = 0,1401 + 0,0001 + 0,0039 + 0,0001 = 0,1442 \text{ UM}$$

$$KM_{Fescoamento} = 0,0222 \text{ UM}$$

C.4 Fase de manutenção

Aqui se pretende simular a desmontagem e a montagem do Sistema de Fixação na bancada.

O tempo de manutenção foi obtido pela média de dois montadores, sendo que cada um realizou três vezes a desmontagem do conjunto completo do pára-lamas com cada alternativa (conforme Tabela 36), sendo que os tempos de montagem são os mesmos da Tabela 35.

Tabela 36 - Medição do tempo de manutenção (em segundos).

	F Convencional						F escoamento							
Desmontagem	média													
Desmontagem braçadeira 1	23	20	18	21	19	21	20,33	11	10	10	9	11	8	9,83
Desmontagem braçadeira 2	18	16	17	19	18	17	17,50	13	8	9	9	9	8	9,33
Desmontagem braçadeira 3	16	16	17	18	16	15	16,33	11	9	6	8	7	6	7,83
Desmontagem braçadeira 4	16	15	16	17	15	15	15,67	9	8	6	8	7	7	7,50
Média por braçadeira	18,25	16,75	17,00	18,75	17,00	17,00	17,46	11,00	8,75	7,75	8,50	8,50	7,25	8,63
Tempo total da desmontagem	18,25	16,75	17,00	18,75	17,00	17,00	17,46	11,00	8,75	7,75	8,50	8,50	7,25	8,63
Tempo total por sistema de fixação para a DESMONTAGEM							17,46							8,63
Tempo total por sistema de fixação para a MONTAGEM							13,67							2,17
Tempo total por sistema de fixação para a MANUTENÇÃO							31,13							10,79

$$SMOC = 59,77 \text{ UM / h}$$

$$t_{mcFConvencional} = 31,13 \text{ s}$$

$$t_{mcFescoamento} = 10,79 \text{ s}$$

$$K_{MOCFConvencional} = 31,13 \times 59,77 \times 1 / 3600 = 0,5168 \text{ UM / ano}$$

$$K_{MOCFescoamento} = 10,79 \times 59,77 \times 1 / 3600 = 0,1791 \text{ UM / ano}$$

$$CFCL = 18,74 \text{ UM}$$

$$KF_{CLFC}^{\text{Convencional}} = 2 \times 18,74 \times 0,35 = 13,1180 \text{ UM / ano}$$

$$KF_{CLFE}^{\text{Escoamento}} = 1 \times 18,74 \times 0,35 = 6,5590 \text{ UM / ano}$$

$$KMC_{FC}^{\text{Convencional}} = 0,5168 + 13,1180 = 13,6268 \text{ UM / ano}$$

$$KMC_{FE}^{\text{Escoamento}} = 0,1791 + 6,5590 = 6,7381 \text{ UM / ano}$$

APÊNDICE D - EQUAÇÕES PARA OS CÁLCULOS DE CUSTOS

D.1 Custos fixos das Áreas prediais

Estes custos são divididos pelo volume de produção anual dos sistemas de fixação.

Todas as áreas necessárias (para equipamentos, embalagens) consideram o seguinte conceito:

$$C_{\text{Espaço}} = A \cdot (C_{\text{DEPRESPAÇO}} + C_{\text{MANUTESPAÇO}} + C_{\text{SEGESPAÇO}} + C_{\text{FINANCESPAÇO}}) \quad \text{Eq. 24}$$

Onde,

$C_{\text{Espaço}}$ = custo do espaço predial (UM / ano)

A = Área mínima, calculada conforme Eq. 85 do ANEXO G (m²)

$C_{\text{DEPRESPAÇO}}$ = custo de depreciação predial (UM / m² ano)

$C_{\text{MANUTESPAÇO}}$ = custo de manutenção predial (UM / m² ano)

$C_{\text{SEGESPAÇO}}$ = custo de seguro predial (UM / m² ano)

$C_{\text{FINANCESPAÇO}}$ = custo de oportunidade sobre o capital investido nas áreas (UM / m² ano)

Sendo,

$$C_{\text{DEPRESPAÇO}} = C_{\text{AREA}} / VU \quad \text{Eq. 25}$$

Onde,

C_{AREA} = custo da área predial, conforme informações da empresa o valor é de 2.622,38 UM / m²

VU = Vida Útil (anos), conforme Tabela 6, para prédios o valor é de 25 anos

$C_{\text{DEPRESPAÇO}} = 104,90$ UM / m² ano

e,

$$C_{\text{MANUTESPAÇO}} = C_{\text{AREA}} \cdot \text{MPR} \quad \text{Eq. 26}$$

Onde,

MPR = valor de manutenção predial, conforme informações da empresa é de 1,5 % / ano

$$C_{\text{MANUTESPAÇO}} = 39,34 \text{ UM} / \text{m}^2 \text{ ano}$$

e,

$$C_{\text{SEGESPAÇO}} = C_{\text{AREA}} \cdot \text{SPR} \quad \text{Eq. 27}$$

Onde,

SPR = valor do seguro dos prédios, conforme informações da empresa é de 5 % / ano

$$C_{\text{SEGESPAÇO}} = 131,12 \text{ UM} / \text{m}^2 \text{ ano}$$

e,

$$C_{\text{FINANCESPAÇO}} = C_{\text{AREA}} \cdot j \quad \text{Eq. 28}$$

Onde,

j = valor do juro de oportunidade, conforme informações da empresa é de 15 % / ano

$$C_{\text{FINANCESPAÇO}} = 393,36 \text{ UM} / \text{m}^2 \text{ ano}$$

Utilizando na Eq. 24 os valores obtidos nas Eq. 25, Eq. 26, Eq. 27 e Eq. 28, tem-se que o custo do espaço ocupado por um equipamento ao ano é:

$$C_{\text{Espaço}} = A \cdot 668,71 \quad \text{Eq. 29}$$

D.2 Custos fixos dos equipamentos

Todos os equipamentos (máquinas operatrizes, ferramentas para manufatura, ferramentas manuais e embalagens) estão enquadrados nestes custos.

Estes custos representam os valores que devem ser pagos independentemente da produção de peças, e são divididos pelo volume de produção anual dos sistemas de fixação.

$$C_{\text{EQUIP}} = C_{\text{EspaçoEQUIP}} + C_{\text{DEPREQUIP}} + C_{\text{SEGEQUIP}} + C_{\text{FINANCEQUIP}} \quad \text{Eq. 30}$$

Onde,

C_{FEQUIP} = custo fixo do equipamento (UM / ano)

$C_{EspaçoEQUIP}$ = custo do espaço utilizado pelo equipamento (UM / ano)

$C_{DEPREQUIP}$ = custo de depreciação do equipamento (UM / ano)

$C_{SEGEQUIP}$ = custo de seguro do equipamento (UM / ano)

$C_{FINANCEQUIP}$ = custo de oportunidade sobre o capital investido nos equipamentos (UM / ano)

Sendo,

$$C_{EspaçoEQUIP} = A \cdot 668,71 \quad \text{Eq. 31}$$

As ferramentas para fabricação e as manuais não possuem esta componente devido ao seu tamanho e instalação.

e,

$$C_{DEPREQUIP} = C_{EQUIP} / VU \quad \text{Eq. 32}$$

Onde,

C_{EQUIP} = Custo de aquisição do Equipamento, conforme ANEXO F (UM)

VU = Vida Útil (anos), conforme Tabela 6, sendo que as ferramentas para manufatura possuem sua vida determinada pelas condições de operação e não pela legislação.

e,

$$C_{SEGEQUIP} = C_{EQUIP} \cdot SEQ \quad \text{Eq. 33}$$

Onde,

SEQ = custo de seguro do equipamento foi definido como sendo 1% ao ano sobre o valor do equipamento, conforme informações da empresa. Ferramentas para manufatura, ferramentas manuais e embalagens não possuem seguro.

e,

$$C_{FINANCEQUIP} = C_{EQUIP} \cdot j \quad \text{Eq. 34}$$

Utilizando as equações e os valores definidos, tem-se que o custo fixo do equipamento ao ano é representado por:

$$CF_{EQUIP} = A \cdot 668,71 + C_{EQUIP} \cdot (1 / VU + SEQ + 0,15) \quad \text{Eq. 35}$$

Dividindo-se o valor acima pela quantidade de conjuntos de sistema de fixação produzidos no ano, tem-se:

$$KF_{EQUIP} = [A \cdot 668,71 + C_{EQUIP} \cdot (1 / VU + SEQ + 0,15)] / Q_{SF} \quad \text{Eq. 36}$$

Onde:

KF_{EQUIP} = custo fixo do equipamento por sistema de fixação (UM / sistema de fixação).

Q_{SF} = quantidade de sistemas de fixação a serem produzidos por ano.

D.3 Custos variáveis dos equipamentos

Apenas as máquinas operatrizes para manufatura possuem os custos variáveis (ferramentas para manufatura, ferramentas manuais e embalagens não possuem custos variáveis).

Estes custos representam os valores gastos em cada conjunto de sistema de fixação produzido por hora.

$$CV_{EQUIP} = C_{MANUTEQUIP} + C_{ENERGIA} \quad \text{Eq. 37}$$

Onde,

CV_{EQUIP} = custo variável do equipamento (UM / h)

$C_{MANUTEQUIP}$ = custo de manutenção do equipamento (UM / h)

$C_{ENERGIA}$ = custo de consumo de energia elétrica do equipamento (UM / h)

Sendo,

$$C_{MANUTEQUIP} = C_{EQUIP} \cdot MEQ / H_{ano} \quad \text{Eq. 38}$$

Onde,

MEQ = valor de manutenção do equipamento, conforme informações da empresa foi considerado como 2% sobre o custo de aquisição deste para um ano de utilização, em função do número de horas efetivamente trabalhadas

H_{ano} = número de horas trabalhadas por ano (h / ano), definido como 1760 h / ano (utilizando-se 8 h / dia e 220 dias / ano)

e,

$$C_{ENERGIA} = N_{EQ} \cdot C_{EE} \quad \text{Eq. 39}$$

Onde,

N_{EQ} = potência do equipamento (kW)

C_{EE} = custo da energia elétrica, considerando-se 0,524 UM / kWh conforme informações da empresa

Assim, utilizando-se dos valores definidos, obtém-se que para cada sistema de fixação o custo variável será:

$$K_{VEQUIP} = t_{op} \cdot (C_{EQUIP} / 88000 + N_{EQ} \cdot 0,524) / 3600 \quad \text{Eq. 40}$$

Onde,

K_{VEQUIP} = custo variável do equipamento (UM / sistema de fixação)

t_{op} = tempo de operação dos equipamentos utilizados na manufatura para cada sistema de fixação (s), calculado conforme Eq. 77 do APÊNDICE E

D.4 Custos de mão-de-obra por hora

Para obter o custo por hora de cada funcionário, utilizaram-se os valores dos salários mensais obtidos conforme exposto no ANEXO I (Tabela 53) e aplicou-se:

- ?? Correção de valores entre novembro 2002 e Setembro 2003, pelo índice INPC de 17,52%;
- ?? Valor de encargos sociais de 68,77% (conforme Tabela 54 do ANEXO I);
- ?? Divisão do salário nominal em UM / mês pela quantidade de horas produtivas no mês (160 horas).

Valores eventualmente pagos por algumas empresas a título de benefícios, como assistência médica, auxílio farmácia, transporte, complemento para educação, entre outros, não foram incluídos por não se tratarem de encargos obrigatórios.

D.5 Custos das ferramentas utilizadas na manufatura

Para obter o custo de cada ferramenta por sistema de fixação, utiliza-se o custo de aquisição, custo de afiação, quantidade de afiações e vida da ferramenta (entre afiações e total).

O modelo não considera que as ferramentas sejam afiadas por serem de aço-rápido e baixo custo, o que inviabiliza a afiação:

$$K_{FERR} = C_{FERR} / V_{FERR} \quad \text{Eq. 41}$$

Onde:

C_{FERR} = custo de aquisição da ferramenta (UM)

V_{FERR} = vida da ferramenta ou quantidade de operações da ferramenta (número de furos, número de roscas, metros, minutos)

No caso da furação por escoamento, a equação fica:

$$K_{FL} = C_{FL} \cdot Q_{Porcas} / Q_f \quad \text{Eq. 42}$$

Onde:

K_{FL} = custo da ferramenta *Flowdrill*® por sistema de fixação (UM)

Q_f = quantidade de furos, no caso 20000 furos, conforme informações do representante do fabricante

Para os machos de conformação, a equação será:

$$K_{MC} = C_{MC} \cdot Q_{Porcas} \cdot e / Q_{mr} \cdot 1000 \quad \text{Eq. 43}$$

Onde:

K_{MC} = custo da ferramenta macho para conformação por sistema de fixação (UM)

Q_{mr} = quantidade de metros, no caso 50 metros, conforme informações do representante do fabricante

No caso das brocas tem-se a vida em metros, portanto a equação será:

$$K_{BRO} = C_{BRO} \cdot Q_{Porcas} \cdot e / Q_m \cdot 1000 \quad \text{Eq. 44}$$

Onde:

K_{BRO} = custo da broca helicoidal por sistema de fixação (UM)

Q_m = quantidade de metros, no caso 5 metros (SKF, 1987)

No caso dos escareadores, considera-se a vida em metros e a equação é:

$$K_{ESC} = C_{ESC} \cdot Q_{Porcas} \cdot 2 \cdot 5 \% \cdot d / Q_{me} \cdot 1000 \quad \text{Eq. 45}$$

Onde:

K_{ESC} = custo da broca escareadora por sistema de fixação (UM)

Q_{me} = quantidade de metros, no caso 30 metros, conforme informações do representante do fabricante

APÊNDICE E - EQUAÇÕES PARA OS CÁLCULOS DOS TEMPOS DE OPERAÇÃO

E.1 Tempos de manufatura para cada sistema de fixação

Utilizando-se os conceitos do ANEXO C e do ANEXO H, foram desenvolvidas as equações apresentadas a seguir.

Tempo para instalar a ferramenta (tif)

Obtido conforme Tabela 52 do ANEXO H, devido às similaridades entre os equipamentos e ferramentas.

O modelo considera que a ferramenta é instalada na sua aquisição e removida ao final de sua vida útil.

$$t_{if} = 9 / V_{FERR} \quad \text{Eq. 46}$$

Aplicando as informações do APÊNDICE D, têm-se os seguintes tempos (em s) para instalar a ferramenta por cada conjunto de sistema de fixação:

$$t_{ifFL} = 9 \cdot Q_{Porcas} / 20000 \quad \text{Eq. 47}$$

$$t_{ifMC} = 9 \cdot Q_{Porcas} \cdot e / 50000 \quad \text{Eq. 48}$$

$$t_{ifBRO} = 9 \cdot Q_{Porcas} \cdot e / 5000 \quad \text{Eq. 49}$$

$$t_{ifESC} = 9 \cdot Q_{Porcas} \cdot d / 300000 \quad \text{Eq. 50}$$

Tempo para preparar (set-up) o equipamento (t_{pe})

Conforme ANEXO H (Tabela 52), é necessário uma hora para a preparação do equipamento furadeira para trabalhos com brocas helicoidais. Utiliza-se aqui o mesmo valor devido às similaridades entre os equipamentos e ferramentas.

O modelo considera que o equipamento necessita de preparo inicial quando a ferramenta é instalada na sua aquisição e quando a mesma é removida ao final de sua vida útil.

$$t_{pe} = 3600 / V_{FERR} \quad \text{Eq. 51}$$

Aplicando as informações do APÊNDICE D, têm-se os seguintes tempos (em segundos) para preparar o equipamento por cada conjunto de sistema de fixação:

$$t_{peFL} = 3600 \cdot Q_{Porcas} / 20000 \quad \text{Eq. 52}$$

$$t_{peMC} = 3600 \cdot Q_{Porcas} \cdot e / 50000 \quad \text{Eq. 53}$$

$$t_{peBRO} = 3600 \cdot Q_{Porcas} \cdot e / 5000 \quad \text{Eq. 54}$$

$$t_{peESC} = 3600 \cdot Q_{Porcas} \cdot d / 300000 \quad \text{Eq. 55}$$

Tempo para colocar a peça ou retirar a peça do equipamento (t_{cp} e t_{rp})

Obtido conforme ANEXO H (Tabela 51), devido às similaridades entre os equipamentos.

Este tempo é função do peso da chapa a ser manufaturada.

Para chapas até 0,2 kgf:

$$t_{cp} = t_{rp} = 1,4 \text{ s} \quad \text{Eq. 56}$$

Para chapas entre 0,2 e 4,5 kgf:

$$t_{cp} = t_{rp} = 6,5 \text{ s} \quad \text{Eq. 57}$$

Para chapas entre 4,5 e 14 kgf:

$$t_{cp} = t_{rp} = 12 \text{ s} \quad \text{Eq. 58}$$

Tempo de aproximação (tap) e tempo de afastamento (taf)

Obtidos pela fórmula empírica (Eq. 92) descrita no ANEXO H.

$$t_{ap} = t_{af} = t_{ex} \cdot 0,25 \cdot d / e \quad \text{Eq. 59}$$

Onde:

d = diâmetro do furo com brocas ou escoado (mm)

e = espessura da chapa (mm)

Assim têm-se os seguintes tempos (em segundos) para a aproximação ou afastamento da ferramenta por cada conjunto de sistema de fixação:

$$t_{apFL} = t_{afFL} = Q_{Porcas} \cdot t_{exFL} \cdot 0,25 \cdot d / e \quad \text{Eq. 60}$$

$$t_{apMC} = t_{afMC} = 0 \quad \text{Eq. 61}$$

$$t_{apBRO} = t_{afBRO} = Q_{Porcas} \cdot t_{exBRO} \cdot 0,25 \cdot d / e \quad \text{Eq. 62}$$

$$t_{apESC} = t_{afESC} = Q_{Porcas} \cdot t_{exESC} \cdot 0,25 \cdot d / e \quad \text{Eq. 63}$$

No caso do rosqueamento, os tempos de aproximação e afastamento são definidos pelo curso de deslocamento da ferramenta até a peça conforme a Eq. 66.

Tempo para executar a operação (tex)**Furação por Escoamento**

Conforme informações do fabricante (ANEXO C).

$$t_{exFL} = (1 + e) \cdot Q_{Porcas} \quad \text{Eq. 64}$$

Rosqueamento por conformação

Conforme informações do fabricante, o tempo de retorno do macho é 50% do tempo de avanço. Assim tem-se o tempo total para confecção da rosca, sendo a velocidade de conformação considerada a média (ANEXO H):

$$t_{exMC} = 1,5 \cdot Cr \cdot 60 / p \cdot n \quad \text{Eq. 65}$$

$$Cr = Cb + Fpm + p \cdot NF \quad \text{Eq. 66}$$

Onde:

Cr = curso de rosqueamento (mm)

Cb = comprimento a ser rosqueado (bucha considerada como 3,5 vezes a espessura da chapa, conforme informações do fabricante *Flowdrill®*) (mm)

Fpm = folga entre a peça e o macho, por observação durante as operações e experimentos, a distância é de 15 mm (mm)

p = passo da rosca (mm)

NF = número de filetes de entrada, considerados quatro (*OSG, 2001*)

Assim temos a equação final por sistema de fixação:

$$t_{exMC} = 0,008571 \cdot (3,5 \cdot e + 15 + 4 \cdot p) \cdot ? \cdot d \cdot Q_{Porcas} / p \quad \text{Eq. 67}$$

Furação convencional com brocas

Obtido com base na Eq. 89 do ANEXO H e informações do fabricante.

A rotação da ferramenta obtém-se pela Eq. 93 e demais valores do ANEXO H, considerando os valores médios de velocidade de corte.

Assim tem-se:

$$t_{\text{exBRO}} = (e + d \cdot 0,182) \cdot \pi \cdot d \cdot Q_{\text{Porcas}} / s \cdot 441,67 \quad \text{Eq. 68}$$

Onde:

s = avanço da ferramenta (mm / rotação), conforme Tabela 50 do ANEXO H

Escareamento ou rebarbação do furo

A rotação da ferramenta obtém-se pela Eq. 93 e valores do ANEXO H, a velocidade de corte como sendo 20 m / min e o chanfro como sendo 5% do diâmetro, conforme informações do representante do fabricante.

Por observação durante os experimentos, o tempo para escarear cada lado do furo é de um segundo, assim tem-se para cada furo o tempo de:

$$t_{\text{exESC}} = 1 \cdot 2 \cdot Q_{\text{Porcas}} \quad \text{Eq. 69}$$

Tempo para mudar a peça no dispositivo (entre cada furo) (t_{mp})

É a soma dos tempos para colocar e para retirar a peça do equipamento.

$$t_{\text{mp}} = (t_{\text{cp}} + t_{\text{rp}}) \cdot (Q_{\text{Porcas}} - 1) \quad \text{Eq. 70}$$

No caso da escareação, a equação fica:

$$t_{\text{mpESC}} = (t_{\text{cp}} + t_{\text{rp}}) \cdot Q_{\text{Porcas}} \quad \text{Eq. 71}$$

Tempo para limpar o equipamento (t_l)

Furação por escoamento

Não há geração de cavacos e nem a utilização de fluidos que necessitam limpeza, portanto este tempo é zero.

$$t_{\text{FL}} = 0 \quad \text{Eq. 72}$$

Rosqueamento por conformação

Há utilização de fluido de corte para a conformação da rosca, mas não há necessidade de limpeza por ser pequena a quantidade, portanto é zero.

$$t_{IMC} = 0 \quad \text{Eq. 73}$$

Furação convencional com brocas

Há geração de cavacos em larga escala e utilização de fluido de corte (lubri-refrigerante). O modelo considera que a limpeza é feita ao final de cada dia de trabalho, o que é procedimento comum em empresas de usinagem. O tempo para a limpeza é de certa forma padronizado entre as empresas e é de 15 minutos.

$$t_{BRO} = 900 \cdot 220 / Q_{SF} \quad \text{Eq. 74}$$

Rebarbação do furo com escareador

Há geração de cavacos em pequena quantidade, mas não há utilização de fluido lubri-refrigerante. O modelo considera que a limpeza é feita ao final de cada dia de trabalho, o que é procedimento comum em empresas de usinagem. O tempo para a limpeza é de certa forma padronizado entre as empresas e é de 15 minutos.

$$t_{ESC} = 900 \cdot 220 / Q_{SF} \quad \text{Eq. 75}$$

Tempo total de cada equipamento (ttot)

Obtém-se pela soma das parcelas acima descritas.

$$t_{tot} = t_f + t_{pe} + t_{cp} + t_{ap} + t_{ex} + t_{af} + t_{mp} + t_{rp} + t_l \quad \text{Eq. 76}$$

Tempo de operação do equipamento (top)

É o tempo que o equipamento realmente está em funcionamento e influencia diretamente a obtenção dos custos variáveis do equipamento. Não se consideram os tempos de instalação da ferramenta, preparação do equipamento e limpeza destes.

$$t_{op} = t_{cp} + t_{ap} + t_{ex} + t_{af} + t_{mp} + t_{rp} \quad \text{Eq. 77}$$

Tempo total de manufatura (ttm)

As diversas etapas de manufatura necessárias para os processos de cada alternativa são somadas e obtém-se o total.

Assim o tempo total da furação por escoamento é somado ao tempo total para execução da rosca por conformação resultando no tempo total final desta alternativa. Por outro lado, o tempo total da furação convencional com brocas é somado ao tempo total necessário para a remoção de rebarbas por escareamento, obtendo-se o tempo total da outra alternativa comparada.

E.2 Tempo de montagem (tm)

Tempo para pegar e devolver a ferramenta adicional e as peças adicionais, no caso da alternativa que utiliza furação convencional, e tempo para a pré-fixação do parafuso na porca ou na rosca existente na chapa (furada por escoamento e rosqueada por conformação).

Os tempos das duas alternativas foram calculados pelo método de estudos de movimentos e tempos, conforme ANEXO J. A Tabela 37 mostra um exemplo das operações de montagem consideradas no modelo.

Tabela 37 - Exemplo das considerações para o cálculo da mão-de-obra adicional na montagem.

Mão-de-obra adicional na montagem

QPorcas 2

Operação	Símbolo	Convencional		Proposta	
		TMU	x QPorcas	TMU	x QPorcas
Pegar braçadeira	-	0	0	0	0
Pegar a chapa	-	0	0	0	0
Pegar parafuso 1	-	0	0	0	0
Alcançar porca 1 - misturada - 500 mm	R 500 C	19,8	39,6	0	0
Movimentar olhos - 500 x 500 mm	ET	15,2	30,4	0	0
Focalizar visão	EF	7,3	14,6	0	0
Agarrar para movimentar porca 1	G 3	5,6	11,2	0	0
Movimentar porca 1 - local exato - 500 mm	M 500 C	22,1	44,2	0	0
Posicionar porca 1 - manuseio fácil	P 1 S Fácil	5,6	11,2	0	0
Girar 90 graus parafuso 1 - 0 a 0,95 kgf	T 90 L	5,4	10,8	5,4	10,8
Alcançar chave 1 - posição fixa - 500 mm	R 500 B	18,6	18,6	0	0
Movimentar olhos - 500 x 500 mm	ET	15,2	15,2	0	0
Focalizar visão	EF	7,3	7,3	0	0
Agarrar para movimentar chave 1	G 1 A	2,0	2,0	0	0
Movimentar chave 1 - local exato - 500 mm	M 500 C	22,1	44,2	0	0
Posicionar chave 1 - pouca pressão - fácil manuseio	P 2 S Fácil	16,2	32,4	0	0
Apertar com parafusadeira pneumática o parafuso 1	-	0	0	0	0
Movimentar chave 1 - local exato - 500 mm	M 500 C	22,1	22,1	0	0
Soltar chave 1	RL 1	2,0	2,0	0	0
Armazenar sistema de fixação	-	0	0	0	0
TMU total			305,8		10,8
Tempo total para a Montagem	TM	s	11.0088		0.3888

E.3 Tempos de manutenção pelo cliente

Tempo para realizar a manutenção (pegar e devolver as ferramentas, as porcas e parafusos), durante a desmontagem e montagem do sistema de fixação. Conforme exemplo na Tabela 38.

$$t_{mc} = t_{mand} + t_{manm} \tag{Eq. 78}$$

Onde,

t_{mc} = tempo total para a manutenção pelo cliente (s)

t_{mand} = tempo para a desmontagem do sistema de fixação na manutenção (s)

t_{manm} = tempo para a montagem do sistema de fixação na manutenção (s)

Tabela 38 - Exemplo das considerações para o cálculo da mão-de-obra adicional na Manutenção pelo Cliente.

Mão-de-obra adicional na manutenção

QPorcas 2

DESMONTAGEM NA MANUTENÇÃO	Símbolo	Convencional		Proposta	
		TMU	x QPorcas	TMU	x QPorcas
Alcançar chave 1 - posição fixa - 500 mm	R 500 B	18,6	37,2	0	0
Movimentar olhos - 500 x 500 mm	ET	15,2	30,4	0	0
Focalizar visão	EF	7,3	14,6	0	0
Agarrar para movimentar chave 1	G 1 A	2,0	4	0	0
Movimentar chave 1 - local exato - 500 mm	M 500 C	22,1	44,2	0	0
Posicionar chave 1 - pouca pressão - fácil manuseio	P 2 S Fácil	16,2	32,4	0	0
Alcançar chave 2 - posição fixa - 500 mm	R 500 B	18,6	37,2	18,6	37,2
Movimentar olhos - 500 x 500 mm	ET	15,2	30,4	15,2	30,4
Focalizar visão	EF	7,3	14,6	7,3	14,6
Agarrar para movimentar chave 2	G 1 A	2,0	4	2,0	4
Movimentar chave 2 - local exato - 500 mm	M 500 C	22,1	44,2	22,1	44,2
Posicionar chave 2 - pouca pressão - fácil manuseio	P 2 S Fácil	16,2	32,4	16,2	32,4
Girar chave 2 para soltar parafuso	-	0	0	0	0
Movimentar chave 2 - local exato - 500 mm	M 500 C	22,1	44,2	22,1	44,2
Soltar chave 2	RL 1	2,0	4	2,0	4
Movimentar parafuso 1 - local exato - 500 mm	M 500 C	22,1	44,2	22,1	44,2
Soltar parafuso 1	RL 1	2,0	4	2,0	4
Movimentar chave 1 - local exato - 500 mm	M 500 C	22,1	44,2	0	0
Soltar chave 1	RL 1	2,0	4	0	0
Movimentar porca 1 - local exato - 500 mm	M 500 C	22,1	44,2	0	0
Soltar porca 1	RL 1	2,0	4	0	0
TMU total			518,4		259,2
Tempo total para a Desmontagem	TMAND		18,6624s		9,3312s

MONTAGEM NA MANUTENÇÃO	Símbolo	Convencional		Proposta	
		TMU	x QPorcas	TMU	x QPorcas
Alcançar porca 1 - posição fixa - 500 mm	R 500 B	18,6	37,2	0	0
Movimentar olhos - 500 x 500 mm	ET	15,2	30,4	0	0
Focalizar visão	EF	7,3	14,6	0	0
Agarrar para movimentar porca 1	G 1 A	2,0	4,0	0	0
Movimentar porca 1 - local exato - 500 mm	M 500 C	22,1	44,2	0	0
Posicionar porca 1 - fácil manuseio	P 1 S Fácil	5,6	11,2	0	0
Pegar parafuso 1	-	0	0	0	0
Girar 90 graus parafuso 1 - 0 a 0,95 kgf	T 90 L	5,4	10,8	5,4	10,8
Alcançar chave 1 - posição fixa - 500 mm	R 500 B	18,6	18,6	0	0
Movimentar olhos - 500 x 500 mm	ET	15,2	15,2	0	0
Focalizar visão	EF	7,3	7,3	0	0
Agarrar para movimentar chave 1	G 1 A	2,0	2,0	0	0
Movimentar chave 1 - local exato - 500 mm	M 500 C	22,1	22,1	0	0
Posicionar chave 1 - pouca pressão - fácil manuseio	P 2 S Fácil	16,2	32,4	0	0
Alcançar chave 2 - posição fixa - 500 mm	R 500 B	18,6	18,6	18,6	18,6
Movimentar olhos - 500 x 500 mm	ET	15,2	15,2	15,2	15,2
Focalizar visão	EF	7,3	7,3	7,3	7,3
Agarrar para movimentar chave 2	G 1 A	2,0	2,0	2,0	2,0
Movimentar chave 2 - local exato - 500 mm	M 500 C	22,1	22,1	22,1	22,1
Posicionar chave 2 - pouca pressão - fácil manuseio	P 2 S Fácil	16,2	32,4	16,2	32,4
Girar chave 2 para soltar parafuso	-	0	0	0	0
Movimentar chave 2 - local exato - 500 mm	M 500 C	22,1	22,1	22,1	22,1
Soltar chave 2	RL 1	2,0	2,0	2,0	2,0
Movimentar chave 1 - local exato - 500 mm	M 500 C	22,1	22,1	0	0
Soltar chave 1	RL 1	2,0	2,0	0	0
TMU total			287,6		143,8
Tempo total para a Montagem em segundos	TMANM		10,3536s		5,1768s
Tempo total para a Manutenção pelo Cliente	TMANCL		29,016s		14,51s

APÊNDICE F - EQUAÇÕES PARA OS CÁLCULOS DAS EMBALAGENS

Para o cálculo da quantidade de embalagens necessárias em cada fase do processo, utiliza-se o tamanho e o volume das peças a serem armazenadas.

Neste modelo, apenas as embalagens para a estocagem das porcas adicionais e da sucata gerada, que ocorrem na alternativa do processo de furação convencional foram consideradas, pois o sistema de produção proposto para manufatura da chapa é igual em ambas as alternativas.

As embalagens serão necessárias na área de estoque principal (Aquisição e Estocagem), na manufatura (para armazenamento da sucata) e na área de montagem.

Para a definição do tamanho e quantidade das embalagens para as porcas, utiliza-se o volume das mesmas.

E a equação que define a quantidade de embalagens é:

$$Q_{\text{EMBPorcas}} = V_{\text{Porcas}} / V_{\text{EMBPorcas}} \quad \text{Eq. 79}$$

Onde:

$Q_{\text{EMBPorcas}}$ = quantidade de embalagens necessárias a cada dia para o estoque principal e para a área de montagem

V_{Porcas} = volume das porcas necessárias a cada dia (mm³)

$V_{\text{EMBPorcas}}$ = capacidade volumétrica da embalagem (mm³)

Este cálculo é feito interativamente para o modelo pequeno, médio e grande de embalagens, sendo que o critério de escolha foi definido de maneira a ter a menor área possível. Assim, utilizam-se até três embalagens de tamanho pequeno para volumes menores, para volumes acima deste limite utiliza-se a embalagem média sendo que a quantidade máxima deste tipo de embalagem está limitada a uma, e nos casos em que os volumes diários são maiores, utiliza-se a embalagem tipo grande. A quantidade de embalagens é sempre múltipla da unidade, não sendo possível ter meia embalagem.

Assim, após a definição do modelo de embalagem, calcula-se a área (A_{EMB}) da mesma multiplicando-se o comprimento pela largura.

O mesmo conceito se aplica para o armazenamento da sucata gerada, ficando a equação final:

$$Q_{EMBSucata} = V_{Sucata} / V_{EMBSucata} \quad \text{Eq. 80}$$

Onde:

$Q_{EMBSucata}$ = quantidade de embalagens necessárias a cada dia para a sucata

V_{Sucata} = volume da sucata produzida durante a furação convencional a cada dia (mm^3)

$V_{EMBSucata}$ = capacidade volumétrica da embalagem (mm^3)

APÊNDICE G - EQUAÇÕES PARA OS CÁLCULOS DOS MATERIAIS AUXILIARES

Para o cálculo dos materiais auxiliares utilizados na manufatura, utilizam-se as informações dos fornecedores.

Assim, o custo do fluido de corte utilizado em cada conjunto de sistema de fixação na furação convencional (brocas) é dado por:

$$K_{\text{AUXBRO}} = C_{\text{FLUCOR}} \cdot Q_{\text{Porcas}} \cdot N_{\text{FLUCOR}} \cdot \pi \cdot d^2 \cdot e / 4000000 \quad \text{Eq. 81}$$

Onde:

K_{AUXBRO} = custo de fluido de corte por conjunto de sistema de fixação (UM)

C_{FLUCOR} = custo do fluido de corte (UM / l)

N_{FLUCOR} = quantidade de fluido de corte utilizado por cm^3 de material removido (ml / cm^3), conforme observações feitas durante os experimentos é de 28,50 ml / cm^3 . A observação foi realizada em chapas de 2 mm (30 furos de 6 mm e 30 furos de 10 mm), chapas de 3 mm (30 furos de 6 mm e 30 furos de 10 mm), chapas de 4 mm (30 furos de 10 mm)

O custo da pasta utilizada em cada conjunto de sistema de fixação na furação por escoamento é dado por:

$$K_{\text{AUXFL}} = C_{\text{PASTA}} \cdot Q_{\text{Porcas}} / N_{\text{PASTA}} \quad \text{Eq. 82}$$

Onde:

K_{AUXFL} = custo de pasta lubrificante por conjunto de sistema de fixação (UM)

C_{PASTA} = custo da pasta lubrificante (UM / kgf)

N_{PASTA} = quantidade de furos feitos com um quilograma de pasta lubrificante (furos / kgf), conforme informações do fornecedor é 20000 furos / kgf

O custo do óleo utilizado em cada conjunto de sistema de fixação no rosqueamento por conformação é dado por:

$$K_{\text{AUXMC}} = C_{\text{OLEO}} \cdot Q_{\text{Porcas}} / N_{\text{OLEO}} \quad \text{Eq. 83}$$

Onde:

K_{AUXMC} = custo do óleo para rosqueamento por conjunto de sistema de fixação (UM)

C_{OLEO} = custo do óleo (UM / l)

N_{OLEO} = quantidade de roscas feitas com um litro de óleo (roscas / l), conforme informações do fornecedor é 100000 roscas / litro

ANEXO A - FURAÇÃO POR ESCOAMENTO - GERAL

Em 1923, num pequeno galpão ao sul da França, Jan Claude de Valliere realizou vários experimentos para desenvolver uma ferramenta para produzir furos em chapas finas de aço utilizando-se do princípio do calor gerado por atrito (escoamento) em vez de corte (*i.e.* usinagem com brocas). Ele conseguiu obter sucesso após muitos experimentos, entretanto, a vida da ferramenta era muito baixa, e as aplicações práticas do processo nas indústrias não eram possíveis devido aos seguintes motivos, (*Flowdrill, 1995*) e (*Flowdrill, 2000*):

- a) Não disponibilidade de materiais resistentes como o metal-duro;
- b) Não conhecimento da geometria correta da ferramenta;
- c) Não existência de rebolos diamantados para retificar ferramentas de materiais muito resistentes (*e.g.* metal-duro); e
- d) Não existência de máquinas para confeccionar o perfil complexo da ferramenta (cônico-poligonal).

Entre 1972 e 1977, o holandês J. van Geffen trabalhou no desenvolvimento de ferramentas adequadas e utilizáveis na prática, desenvolvendo várias patentes holandesas até 1977, quando apareceram as primeiras aplicações na Holanda e na Inglaterra, (*Overy, 1978*) e (*Weingaertner et al, 1995b*).

Gunther Kretschmer trabalhou durante alguns anos no desenvolvimento desta nova tecnologia junto com Greffen, realizando vários trabalhos sobre o assunto, e em 1980 apresentou sua tese de doutorado "Furação por escoamento" pela Universidade de Siegen na Alemanha, (*Weingaertner et al, 1995b*).

Apesar de ainda ser uma tecnologia em desenvolvimento, a furação por escoamento já vem sendo largamente utilizada na indústria europeia (*Overy, 1978*) e começou a ser empregada na indústria brasileira, (*Weingaertner et al, 1996*).

No Brasil, pesquisadores do Laboratório de Mecânica de Precisão da Universidade Federal de Santa Catarina, entre eles, Walter Lindolfo Weingaertner e João Carlos Oliveira Lopes, têm alguns trabalhos realizados para a indústria (Mercedes-Benz do Brasil, Ciser, Brosol e Yannes) e também várias divulgações em veículos científicos.

Também existem estudos no Chile (Universidade de Tarapacá) e na Argentina (Universidade de Buenos Aires), em conjunto com a UFSC.

A Universidade Federal do Ceará iniciou pesquisas sobre o assunto, mas até o momento nada foi publicado, (*Biblioteca Virtual de Inovação Tecnológica, 2001*).

ANEXO B - FURAÇÃO POR ESCOAMENTO - APLICAÇÕES

Apesar de ser um processo relativamente novo e ainda em desenvolvimento, já existem muitas aplicações práticas, entre elas:

- ✍ Indústria automobilística, principalmente na substituição de porcas soldadas, furação de tubos e perfis, componentes estruturais de suspensão e amortecedores;
- ✍ Indústria de linha branca, para fixação de pés e nas conexões de gás;
- ✍ Indústria de bicicletas, na fixação da caramanhola e dos condutores para cabos de aço;
- ✍ Indústria de móveis tubulares;
- ✍ Indústria de equipamentos para ginástica;
- ✍ Construção civil, nas estruturas metálicas tubulares para galpões e nas estruturas metálicas de prédios; e
- ✍ E ainda em outras aplicações como: extintores de incêndio e botijões de gás.

Existem numerosas aplicações possíveis para o processo de furação por escoamento, pois este processo aumenta a espessura efetiva da parede da peça (chapas ou tubos) através da bucha resultante, permitindo a confecção de roscas diretamente ou proporcionando maior superfície de contato para o inserto de outras peças, como se pode observar na Figura 38 e Figura 39, (*Flowdrill, 1995*) e (*Flowdrill, 2000*).

O processo de furação por escoamento pode ser aplicado aos seguintes metais, (*Flowdrill, 1995*), (*Flowdrill, 2000*) e (*Unimex, 2001*):

- a) Aços com resistência à tensão de até 700 N/mm², incluindo inoxidáveis e resistentes a ácidos;
- b) Metais não ferrosos, exceto metais frágeis como CuZn₄₀Pb₂; e
- c) Alumínio com teor de Si menor que 5%.

O fabricante da ferramenta denominada Frictiondrill® cita que podem ser feitos furos com diâmetros de 2 a 32 mm em qualquer tipo de aço com resistência a tensão de até 1200 N / mm², (Drabus, 2001).

Existem experiências para aplicação do processo em materiais não metálicos como Polipropileno / PVC, (Fließlochformen, 1986), mas o trabalho aqui apresentado trata especificamente de aplicações em chapas de aço.

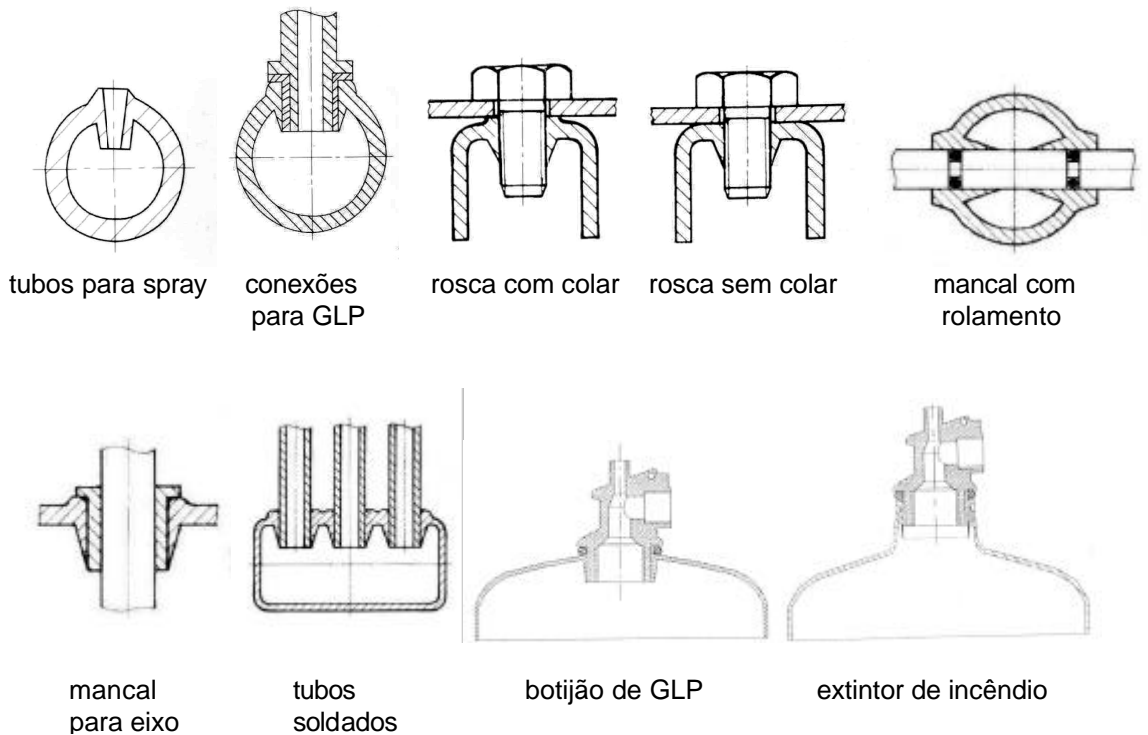
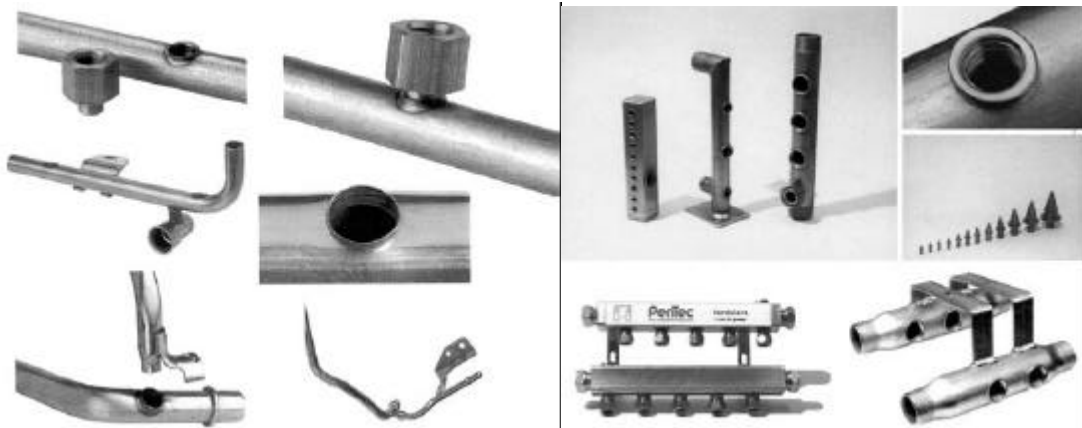


Figura 38 - Aplicações da furação por escoamento, (Flowdrill, 1995) e (Flowdrill, 2000).

Catalisador



Tubulações



Tanques de ar



Aplicações diversas



Fixação de vigas

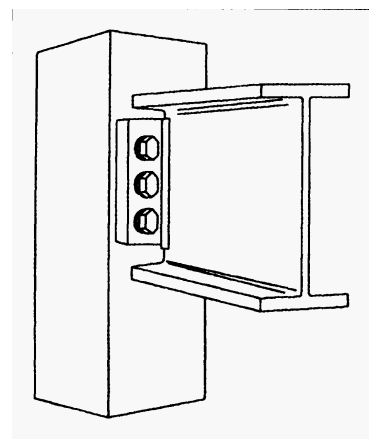


Figura 39 - Aplicações da furação por escoamento, (Weingaertner et al, 1996) e (Flowdrill, 2001).

ANEXO C - FURAÇÃO POR ESCOAMENTO - PROCESSO E FERRAMENTAS

A ferramenta quando rotaciona a elevadas velocidades e é pressionada com elevada força axial (de avanço) contra a peça (chapa ou tubo), gera calor (por atrito) suficiente para amolecer o material e permitir que a ferramenta avance, penetrando na peça e produzindo o furo, simultaneamente ocorre a formação de uma bucha ao redor do furo (resultante do material escoado da região furada) conforme se pode observar na Figura 40. A bucha resultante possui um comprimento de aproximadamente três vezes a espessura do material da peça, (*Flowdrill, 1995*), (*Flowdrill, 2000*) e (*Overy, 1978*)

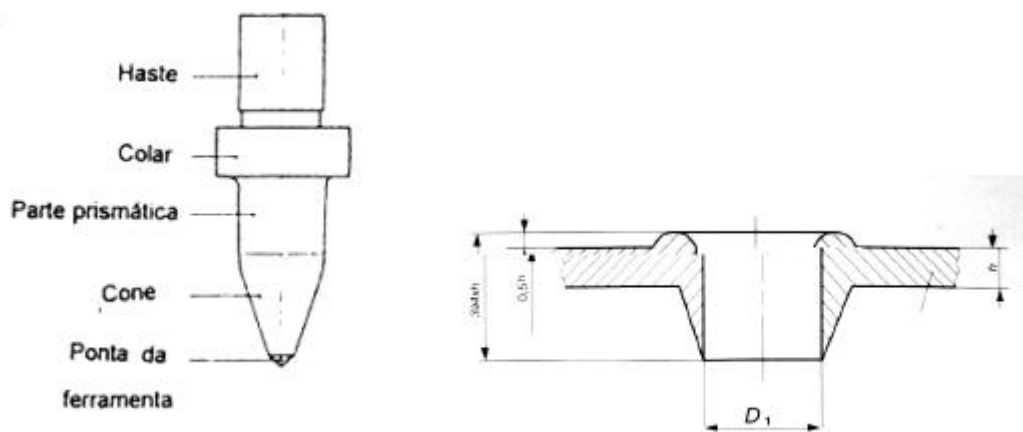


Figura 40 - Partes da ferramenta e formato da bucha, (*Flowdrill, 1995*).

Devido ao aquecimento provocado na região de trabalho, a estrutura dos grãos do aço é refinada proporcionando menor dificuldade para a posterior execução de rosca por conformação, (*Overy, 1978*).

A Figura 41 apresenta o processo completo (incluindo a etapa posterior de rosqueamento por conformação).

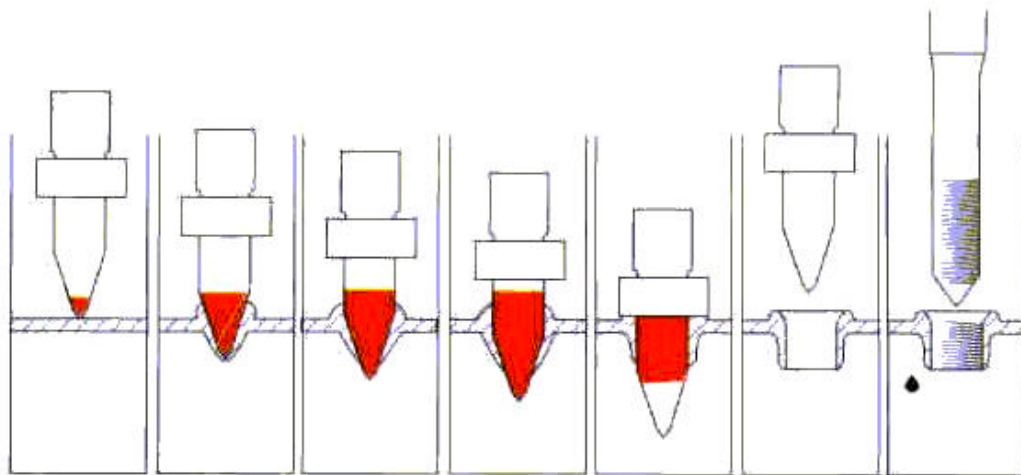


Figura 41 - Etapas do processo, (Flowdrill, 2000).

O processo de furação por escoamento é um processo de fabricação no qual uma ferramenta de metal-duro, fabricada com base de carboneto de tungstênio é pressionada em alta rotação contra uma chapa metálica, sendo que o calor gerado pelo atrito causa a deformação plástica do material resultando na formação de uma bucha na peça, que possui rebarbas tanto na superfície superior quanto inferior conforme observa-se na Figura 41.

A parte ativa da ferramenta é poligonal e composta por três partes: a ponta, o cone e a parte prismática (Figura 40). A ponta cônica inicia o processo de furação, em seguida o cone poligonal realiza o trabalho principal de deformação do material, sendo o furo finalizado pela parte prismática poligonal, que pode ser cilíndrico ou cônico dependendo do tipo da ferramenta. Um sistema especial de refrigeração faz parte da ferramenta para evitar o superaquecimento do mandril e da furadeira. Produtos pastosos à base de sulfetos metálicos são aplicados à ferramenta para evitar a aderência do material da peça na ferramenta, diminuindo o desgaste e aumentando a vida útil da ferramenta.

Atualmente as ferramentas para a furação por escoamento possuem forma cônico-poligonal e são fabricadas em metal-duro.

A ferramenta é constituída por uma ponta, uma parte cônica, uma parte cilíndrica, um colar em forma de anel e uma haste para fixação. Tanto a parte cônica

quanto a parte cilíndrica da ferramenta possuem secção poligonal (lobular) e são as responsáveis pela geração da forma final do furo e da bucha, conforme Figura 40.

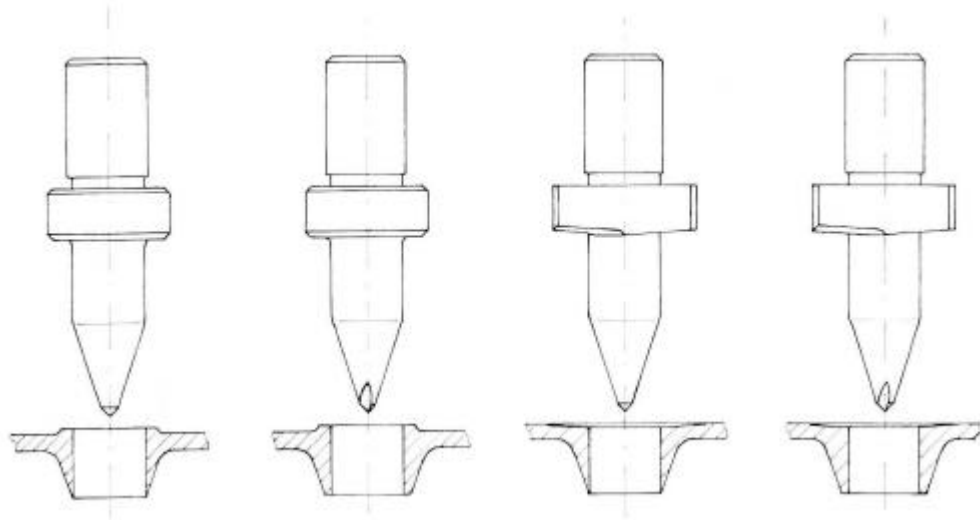
A Figura 42 apresenta o conjunto típico da ferramenta pronto para ser instalado em uma furadeira.



Figura 42 - Conjunto da ferramenta para montar no mandril de uma furadeira, (Flowdrill, 2000).

Os diversos fabricantes possuem nomenclaturas diferenciadas para os tipos de suas ferramentas, em função dos resultados a serem obtidos após o processo. Na Figura 43 estão os tipos com as denominações mais usuais, (Flowdrill, 1995), (Flowdrill, 2000), (Unimex, 2001) e (Overy, 1978).

Ferramenta Tipo Longa



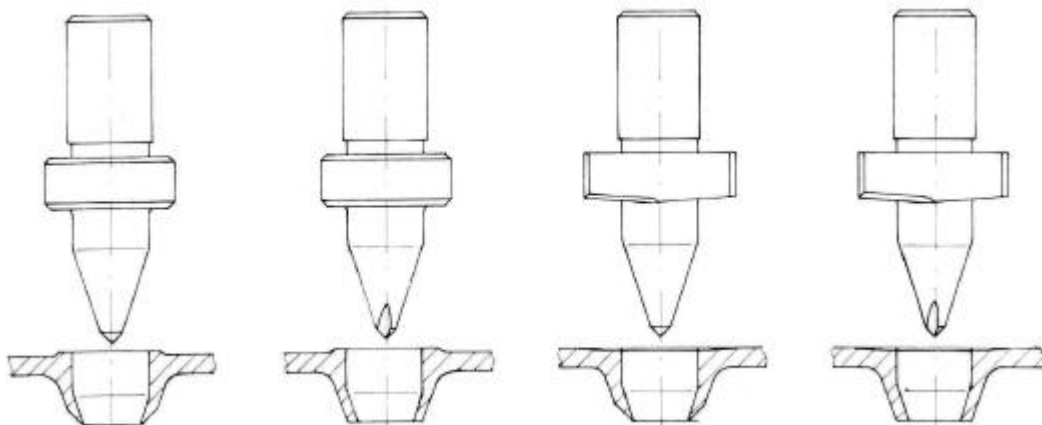
(a) longa

(b) com Ponta estriada

(c) com Escareador

(d) com Ponta estriada e Escareador

Ferramenta Tipo Curta



(a) curta

(b) com Ponta estriada

(c) com Escareador

(d) com Ponta estriada e Escareador

Figura 43 - Formas das ferramentas e seção transversal da bucha escoada, (Flowdrill, 2000).

Como regra geral:

✍ A espessura máxima ($e_{\text{máx}}$) do material da peça a ser furada é proporcional ao diâmetro da ferramenta. Por razões de custos, o processo pode não ser tão vantajoso para espessuras acima de 12,7 mm;

A espessura mínima é definida pela regra geral:

$$e_{\min} > 0,2 \times d_{fl} \tag{Eq. 84}$$

Sendo e_{\min} a espessura mínima da chapa e d_{fl} é o diâmetro da ferramenta. Valor válido para chapas finas de até 2 mm de espessura ($e < 2$ mm). Acima desta espessura não há limitação. A furação é feita à razão de 1 mm / s.

A vida da ferramenta é reduzida quando utilizada em peças com maiores espessuras e materiais com maior resistência.

A Figura 44 indica as máximas espessuras da peça que podem ser furadas com várias ferramentas. Para outras aplicações, ferramentas específicas podem ser fornecidas.

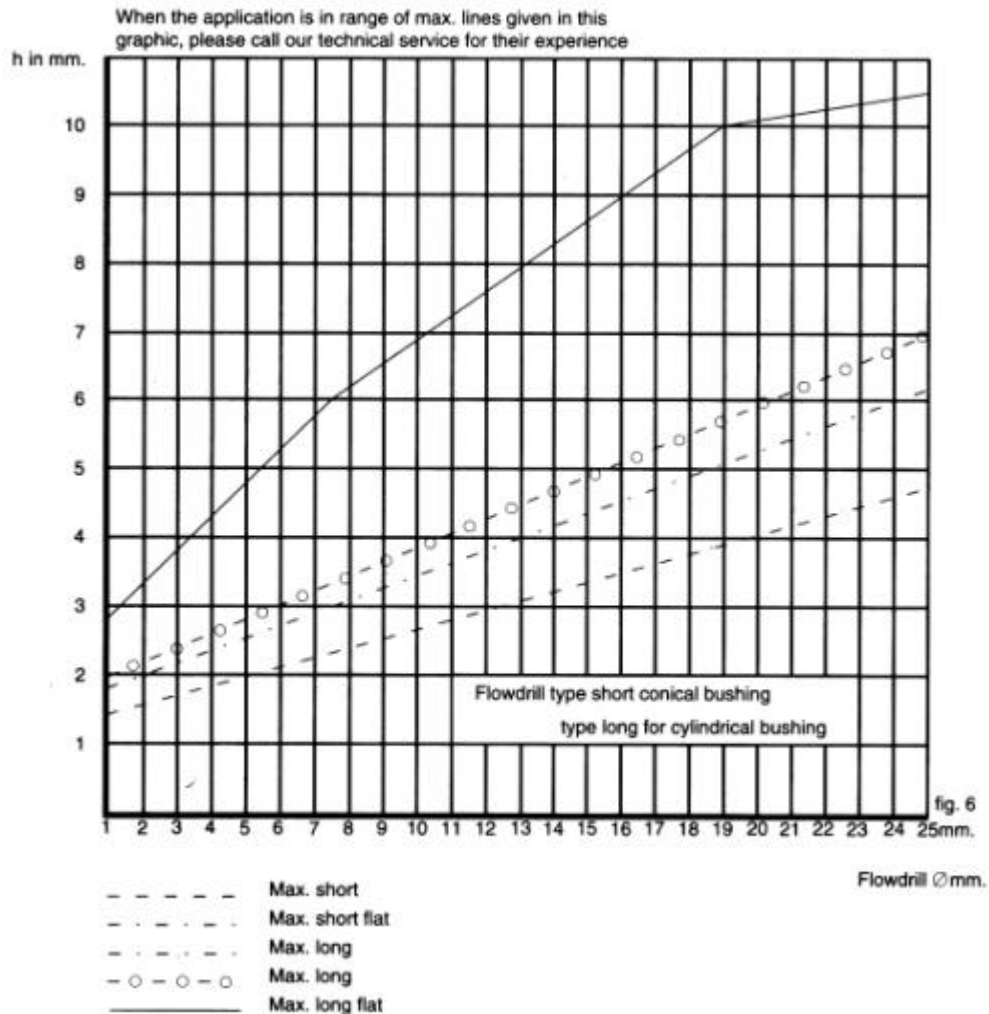


Figura 44 - Diagrama de aplicações espessura x diâmetro, (Flowdrill, 2000).

ANEXO D - ROSQUEAMENTO POR CONFORMAÇÃO

Este processo consiste na conformação a frio de rosca sem geração de cavacos. A ferramenta (macho de conformação), feita usualmente em aço-rápido com ou sem revestimento, possui a seção transversal em forma poligonal conforme a Figura 45 e possui a face de trabalho na forma de parafuso, sendo que os primeiros filetes possuem diâmetros crescentes (cônica), os quais são responsáveis pelo trabalho de deslocamento inicial do material e servem de guia para a ferramenta. A rosca é formada pelo deslocamento radial do material da peça por entre os filetes de rosca do macho em rotação.

O processo de rosqueamento interno sem geração de cavacos teve início nos anos 40, mas só nos anos 50 os machos para conformação tiveram sucesso. A empresa Vermont Tap & Die Co., dos Estados Unidos, desenvolveu seu primeiro macho de conformação a frio em 1957, (*Weingaertner et al, 1997*).

O processo de rosqueamento por conformação é uma operação onde a ferramenta que possui perfil similar ao de um parafuso e a seção transversal em forma poligonal produz uma rosca interna na peça por deformação plástica. A rosca é formada pelo deslocamento radial do material da peça promovido pela rotação do macho dentro da peça conforme Figura 46.

O macho de conformação é fabricado em aço-rápido podendo ser revestido com TiN e TiN-TiC, possuindo ponta cônica com alguns filetes (de dois a quatro) que iniciam o processo de conformação e guiam a ferramenta.

Kretschmer (*apud Weingaertner et al, 1995a*) obteve em seus experimentos valores de resistência à tração acima dos recomendados pelas normas utilizando a conformação de roscas.

Weingaertner et al (*1995a*), citam que segundo a norma DIN 267 Parte 4, as buchas conformadas atingiram classes de resistência IT 8 a IT 9, enquanto as buchas usinadas se situaram na classe IT 7.

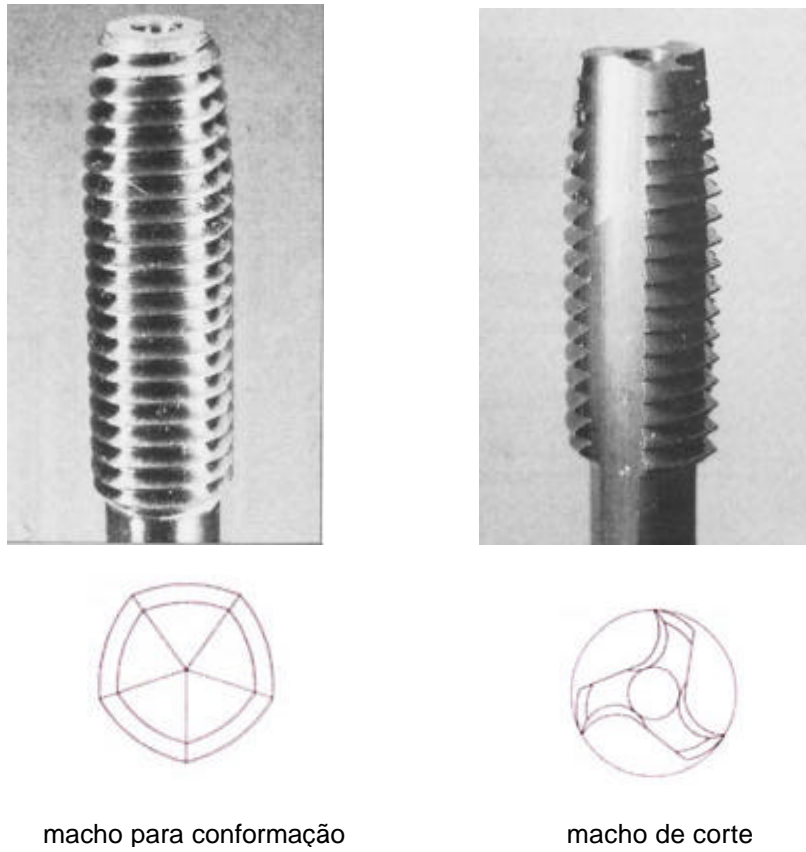


Figura 45 - Macho para conformação e macho para usinagem, (Fantin, 1992) e (Flowdrill, 2001).

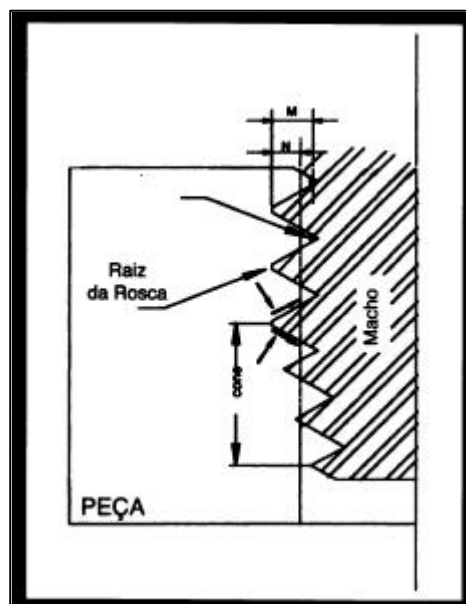


Figura 46 - Conformação do filete da rosca na peça, (Weingaertner et al, 1997).

ANEXO E - MATÉRIA-PRIMA

No modelo apresentado neste trabalho utilizam-se duas matérias-primas: Porcas e Chapas de aço.

As espessuras e demais informações de algumas chapas finas de aço conforme ABNT encontram-se na Tabela 39.

Material das chapas: aço 1020.

Peso específico do aço: 7,86 gf / cm³.

Tabela 39 - Espessuras de chapas finas de aço, em mm.

Chapas de aço		Chapas de aço	
Espessura	Custo	Espessura	Custo
mm	UM / kgf	mm	UM / kgf
0,30	6,06	2,75	4,46
0,40	6,06	3,00	4,46
0,50	6,06	3,15	4,75
0,60	6,06	3,35	4,75
0,70	6,06	3,55	5,16
0,80	5,53	3,75	5,16
0,90	5,53	4,00	5,16
1,00	5,53	4,25	5,16
1,25	5,80	4,50	5,16
1,50	5,80	4,75	5,16
1,75	5,80	5,00	5,16
2,00	4,46	5,30	5,16
2,25	4,46	5,60	5,16
2,50	4,46	6,00	5,16

As dimensões e demais informações das porcas de aço encontram-se na Tabela 40.

Rosca métrica grossa, conforme norma ISO.

Material das porcas: aço.

Peso específico do aço: 7,86 gf / cm³.

Tabela 40 - Dimensões das porcas, em mm.

Porcas de aço						
Rosca	Passo	Peso gf	Custo	Dimensões		
	mm		UM / unidade	mm		
M02	0,40	-	-	-	-	-
M03	0,50	-	-	-	-	-
M04	0,70	1,5	0,17	4,0	7,0	7,7
M05	0,80	2	0,21	5,0	8,0	8,8
M06	1,00	3	0,28	6,0	10,0	11,1
M08	1,25	7	0,42	8,0	13,0	14,4
M10	1,50	12	0,49	10,0	15,0	16,6
M12	1,75	21	0,91	12,0	18,0	20,0
M14	2,00	30	1,26	14,0	21,0	23,4
M16	2,00	50	3,81	16,0	24,0	26,8
M20	2,50	99	5,49	20,0	30,0	33,0
M24	3,00	120	7,90	29,0	36,0	40,0

ANEXO F - EQUIPAMENTOS

Este Anexo contém as informações técnicas e comerciais sobre os equipamentos (Tabela 41, Tabela 42 e Tabela 43), ferramentas (Tabela 44 e Tabela 46), materiais auxiliares (Tabela 45) e embalagens (Tabela 47), necessárias para a realização dos cálculos propostos no modelo.

Tabela 41 - Furadeiras para furação por escoamento.

Furadeiras para Furação por Escoamento							
Rosca	Código	Custo	Potência	Largura	Profundidade	Capacidade	
		UM	kW	mm	mm	Furação	rpm
M02	FE1	-	-	-	-	-	-
M03	FE2	33.186,58	1,5	370	700	3 a 8 mm	max 5300
M04	FE2	33.186,58	1,5	370	700	3 a 8 mm	max 5300
M05	FE2	33.186,58	1,5	370	700	3 a 8 mm	max 5300
M06	FE2	33.186,58	1,5	370	700	3 a 8 mm	max 5300
M08	FE2	33.186,58	1,5	370	700	3 a 8 mm	max 5300
M10	FE3	38.886,92	2,25	370	700	8 a 16 mm	max 2860
M12	FE3	38.886,92	2,25	370	700	8 a 16 mm	max 2860
M14	FE3	38.886,92	2,25	370	700	8 a 16 mm	max 2860
M16	FE3	38.886,92	2,25	370	700	8 a 16 mm	max 2860
M20	FE4	-	-	-	-	-	-
M24	FE5	-	-	-	-	-	-

Tabela 42 - Furadeiras para furação convencional e para escarear.

Furadeiras para Furação Convencional							
Rosca	Código	Custo	Potência	Largura	Profundidade	Capacidade	
		UM	kW	mm	mm	Furação	rpm
M02	F1	12.300,24	0,375	300	565	ate 6 mm	1100 a 10100
M03	F1	12.300,24	0,375	300	565	ate 6 mm	1100 a 10100
M04	F1	12.300,24	0,375	300	565	ate 6 mm	1100 a 10100
M05	F1	12.300,24	0,375	300	565	ate 6 mm	1100 a 10100
M06	F2	21.262,05	0,525	370	700	ate 10 mm	614 a 10100
M08	F2	21.262,05	0,525	370	700	ate 10 mm	614 a 10100
M10	F3	17.918,81	0,525	370	700	ate 12 mm	480 a 3200
M12	F4	20.121,99	0,75	370	700	ate 16 mm	360 a 2100
M14	F4	20.121,99	0,75	370	700	ate 16 mm	360 a 2100
M16	F5	24.052,10	0,675	370	700	ate 25 mm	426 a 1580
M20	F5	24.052,10	0,675	370	700	ate 25 mm	426 a 1580
M24	F6	-	-	-	-	-	-

Furadeiras para Escarear							
Rosca	Código	Custo	Potência	Largura	Profundidade	Capacidade	
		UM	kW	mm	mm	Furação	rpm
M02	FR1	12.300,24	0,375	300	565	-	-
M03	FR1	12.300,24	0,375	300	565	-	-
M04	FR1	12.300,24	0,375	300	565	-	-
M05	FR1	12.300,24	0,375	300	565	-	-
M06	FR1	12.300,24	0,375	300	565	-	-
M08	FR1	12.300,24	0,375	300	565	-	-
M10	FR1	12.300,24	0,375	300	565	-	-
M12	FR1	12.300,24	0,375	300	565	-	-
M14	FR1	12.300,24	0,375	300	565	-	-
M16	FR1	12.300,24	0,375	300	565	-	-
M20	FR1	12.300,24	0,375	300	565	-	-
M24	FR1	12.300,24	0,375	300	565	-	-

Tabela 43 - Rosqueadeiras e Furadeiras com cabeçote para rosqueamento.

Rosqueadeiras							
Rosca	Código	Custo	Potência	Largura	Profundidade	Capacidade	
		UM	kW	mm	mm	Roscas	rpm
M02	R1	25.495,22	0,375	300	565	até M8	550 a 1100
M03	R1	25.495,22	0,375	300	565	até M8	550 a 1100
M04	R1	25.495,22	0,375	300	565	até M8	550 a 1100
M05	R1	25.495,22	0,375	300	565	até M8	550 a 1100
M06	R1	25.495,22	0,375	300	565	até M8	550 a 1100
M08	R1	25.495,22	0,375	300	565	até M8	550 a 1100
M10	R2	28.862,52	0,75	370	700	até M12	275 a 520
M12	R2	28.862,52	0,75	370	700	até M12	275 a 520
M14	R3	31.267,73	0,75	370	700	até M16	135 a 535
M16	R3	31.267,73	0,75	370	700	até M16	135 a 535
M20	R4	33.672,94	0,8625	370	700	até M25	120 a 392
M24	R4	33.672,94	0,8625	370	700	até M25	120 a 392

Furadeiras com Cabeçote para Rosquear							
Rosca	Código	Custo	Potência	Largura	Profundidade	Capacidade	
		UM	kW	mm	mm	Roscas	rpm
M02	-	-	-	-	-	-	-
M03	FC1	20.076,47	0,375	300	565	M3 a M8	1100 a 10100
M04	FC1	20.076,47	0,375	300	565	M3 a M8	1100 a 10100
M05	FC1	20.076,47	0,375	300	565	M3 a M8	1100 a 10100
M06	FC1	20.076,47	0,375	300	565	M3 a M8	1100 a 10100
M08	FC1	20.076,47	0,375	300	565	M3 a M8	1100 a 10100
M10	FC2	31.628,98	0,75	370	700	M8 a M16	360 a 2100
M12	FC2	31.628,98	0,75	370	700	M8 a M16	360 a 2100
M14	FC2	31.628,98	0,75	370	700	M8 a M16	360 a 2100
M16	FC2	31.628,98	0,75	370	700	M8 a M16	360 a 2100
M20	FC3	35.719,89	0,75	370	700	M16 a M27	360 a 2100
M24	FC3	35.719,89	0,75	370	700	M16 a M27	360 a 2100

Tabela 44 - Ferramentas para manufatura.

Ferramentas para manufatura								
	Brocas Helicoidais		Escareador		Flowdrill		Macho laminador	
Rosca	Diâmetro	Custo	Diâmetro	Custo	Diâmetro	Custo	Diâmetro	Custo
	mm	UM	mm	UM	mm	UM	mm	UM
M02	3	3,43	10	183,92	1,8	-	2	-
M03	4	4,27	10	183,92	2,7	1.019,58	3	298,32
M04	5	5,63	10	183,92	3,7	1.268,81	4	298,32
M05	6	7,06	10	183,92	4,5	1.321,68	5	298,32
M06	8	11,64	20	198,36	5,3	1.382,10	6	298,32
M08	10	21,40	20	198,36	7,3	1.797,48	8	324,76
M10	12	30,10	20	198,36	9,2	1.963,64	10	370,07
M12	14	97,24	20	198,36	10,9	2.454,55	12	422,94
M14	16	147,27	20	198,36	13,1	2.718,88	14	453,15
M16	18	157,97	30	698,60	14,8	3.209,79	16	589,09
M20	22	348,01	30	698,60	18,7	3.360,84	20	740,14
M24	26	-	30	698,60	22,5	3.587,41	24	944,06

Tabela 45 - Materiais auxiliares.

Materiais auxiliares					
Descrição	Custos		Rendimentos		
	UM / litro	UM / kgf	ml / cm ³ de material removido	furos / kgf	rosca / litro
Fluido de corte (brocas)	251,75	-	28,50	-	-
Pasta para Flowdrill Fd-KS	-	1.041,96	-	20000	-
Óleo para rosqueamento	160,84	-	-	-	100000

Tabela 46 - Ferramentas manuais.

Chaves combinadas		
Rosca	Dimensões da chave	Custo
	mm	UM
M02	4,0	-
M03	5,5	-
M04	7,0	14,83
M05	8,0	15,10
M06	10,0	15,94
M08	13,0	18,74
M10	17,0	27,38
M12	19,0	30,31
M14	22,0	35,28
M16	24,0	41,29
M20	30,0	87,97
M24	36,0	126,64

Tabela 47 - Embalagens.

Embalagens					
Modelo	Capacidade	Custo	Dimensões (mm)		
	mm ³	UM / unidade	Altura	Largura	Comprimento
Pequena	4347000	16,08	120	160	315
Média	39146250	87,27	230	408	607
Grande	76678875	419,58	233	614	814

ANEXO G - ÁREAS PARA INSTALAÇÃO E OPERAÇÃO

Na definição da área mínima necessária para os equipamentos deve-se levar em consideração:

- ?? A área ocupada pelo equipamento propriamente dito, em sua condição mais desfavorável possível.
- ?? A área ocupada ao redor do posto de trabalho ou equipamento, por caixas, fardos ou pilhas de matéria-prima, semi-acabados, cavacos, rebarbas e peças acabadas, área essa vinculada diretamente o posto de trabalho ou equipamento em estudo.
- ?? A área necessária ao operador ao redor do equipamento ou posto de trabalho, considerando-se suas necessidades mínimas de acesso, conforto e segurança.
- ?? A área necessária à alimentação e à remoção de material de um equipamento.
- ?? A área necessária às instalações elétricas e hidráulicas ligadas diretamente ao equipamento ou à bancada de trabalho.

Assim, para se determinar o valor da área mínima necessária pode-se utilizar o Método de Guerchet¹³, que é o resultado da soma de três componentes básicos:

$$A = A_p + A_g + A_e \quad \text{Eq. 85}$$

onde,

A = área mínima

A_p = área própria ou efetiva do equipamento

A_g = área de gravitação, necessária ao operador, matéria-prima e acessórios do equipamento

A_e = área de evolução ou área de circulação utilizada para a movimentação e acesso ao equipamento (circulação de pessoal e transportes internos)

¹³ Conforme Vale (1975), este método foi apresentado na revista francesa *Travail et Méthodes* (1956).

$$A_g = A_p \cdot N \quad \text{Eq. 86}$$

N = número de lados do equipamento utilizados pelo operador, conforme Tabela 48.

$$A_e = (A_p + A_g) \cdot K \quad \text{Eq. 87}$$

K = fator relacionado ao tipo e finalidade da instalação, conforme Tabela 49.

Tabela 48 - Número de lados do equipamento, (Vale, 1975).

EQUIPAMENTO	N
Torno mecânico	1
Fresadora	2
Furadeira	3
Retificadora	2
Esmeril de pedestal	3
Cabine de solda	1

Tabela 49 - Valores do fator K, (Vale, 1975).

TIPO DE EMPRESA	K
Mecânica pesada com utilização de pontes rolantes	0,05 a 0,15
Linha de montagem com transportador mecânico	0,10 a 0,25
Indústria mecânica de precisão	0,75 a 1,00
Indústria mecânica leve	1,50 a 2,00
Indústria mecânica de uso geral (oficinas)	2,00 a 3,00

ANEXO H - CICLO E TEMPOS DE USINAGEM

O ciclo de usinagem de uma peça, pertencente a um lote de Z peças, é constituído diretamente pelas seguintes fases, (Ferraresi, 1970):

- a. Colocação e fixação da peça no equipamento;
- b. Aproximação ou posicionamento da ferramenta para o início do corte;
- c. Corte propriamente dito;
- d. Afastamento da ferramenta; inspeção (se necessária); e
- e. Retirada da peça usinada.

Além destas fases, tomam parte indireta no ciclo de usinagem as seguintes:

- f. Preparo do equipamento para a execução de Z peças, que só ocorre no início da mesma;
- g. Remoção da ferramenta do seu suporte para afiação ou substituição;
- h. Afiação da ferramenta; e
- i. Recolocação e ajustagem da ferramenta no seu suporte.

Estes tempos podem ser convencionados da seguinte forma:

t_t = tempo total de confecção por peça (s)

t_c = tempo de corte propriamente dito (fase c.)

t_s = tempo secundário de usinagem (fases a. e e.)

t_a = tempo de aproximação e afastamento da ferramenta (fases b. e d.)

t_p = tempo de preparo do equipamento (fase f.)

t_{ft} = tempo de troca da ferramenta (fases g. e i.)

t_{fa} = tempo de afiação da ferramenta (fase h.)

O tempo total de confecção de uma peça para um lote Z será:

$$t_t = t_c + t_s + t_a + t_p / Z + n_t / Z \cdot (t_{ft} + t_{fa}) \quad \text{Eq. 88}$$

Onde:

n_t = número de trocas ou afiações da ferramenta, para a usinagem do lote Z

Z = quantidade de peças a serem fabricadas

O cálculo do tempo para a furação com brocas será calculado por, (*Hicks et al, 1985*) e (*Boothroyd et al, 1994*):

$$t_c = (e + h_1) \cdot 60 / (s \cdot n) \quad \text{Eq. 89}$$

Onde,

e = espessura da chapa (mm)

h_1 = comprimento da ponta da broca (mm)

s = avanço (mm / rotação)

n = rotação da ferramenta (rpm)

$$h_1 = d \cdot K_S \quad \text{Eq. 90}$$

Onde:

$K_S = 0,182$ (constante para ângulo de ponta da broca de $s = 140^\circ$), (*SKF, 1987*)

d = diâmetro do furo (mm)

A Tabela 50 indica as recomendações de fabricante para avanços com brocas de aço-rápido, (*SKF, 1987*):

Tabela 50 - Avanços para furação com brocas de aço-rápido, (SKF, 1987).

Diâmetro da broca (mm)	Avanço recomendado (mm/rotação)
$d < 8$ mm	$s = (0,0250 \cdot d) \cdot M$
$8 < d < 20$ mm	$s = (0,0125 \cdot d + 0,1) \cdot M$
$d > 20$ mm	$s = (0,0080 \cdot d + 0,19) \cdot M$

Onde:

$M = 0,80$ (fator de correção em função da usinabilidade do material, no caso do aço até $700 \text{ N} / \text{mm}^2$)

O tempo para carga e descarga manual da peça na máquina operatriz pode ser estimado pelo peso da peça, (Boothroyd et al, 1994), conforme a Tabela 51,

Tabela 51 - Tempos para carga e descarga na usinagem, (Boothroyd et al, 1994).

Acionamento Manual	Peso da peça (kgf)			
	0 – 0,2	0,2 – 4,5	4,5 – 14	14 – 27
Tempo para carga (t_{s1}) ou descarga (t_{s2})	1,4	6,5	12,0	-

Assim, obtém-se o tempo secundário de usinagem:

$$t_s = t_{s1} + t_{s2} \quad \text{Eq. 91}$$

Tempo para colocar ferramenta e executar os ajustes (*set-up*), (Boothroyd et al, 1994), conforme Tabela 52.

Tabela 52 - Tempos para ajustes em furadeiras, (Boothroyd et al, 1994).

	Tempo para colocar a ferramenta $t_{ft} / 2$ (s)	Tempo para o <i>set-up</i> t_p (h)	Tempo para <i>set-up</i> adicional (h)
Furadeira	9	1,0	-

Assim obtém-se o tempo para troca de ferramenta:

$$t_{ft} = 18 \text{ s}$$

E o tempo para preparo do equipamento:

$$t_p = 3600 \text{ s}$$

Em função do tempo de aproximação da ferramenta à peça e o retorno após a operação, a fórmula empírica do tempo de aproximação e de afastamento da ferramenta será dado por, (*Boothroyd et al, 1994*):

$$t_a = t_c \cdot 0,5 \cdot d / e \quad \text{Eq. 92}$$

A velocidade de corte é calculada por:

$$v_c = ? \cdot d \cdot n / 1000 \quad \text{Eq. 93}$$

onde:

v_c = velocidade de corte (m / min)

A recomendação do fabricante para velocidade de corte com brocas de aço-rápido no material aço até 700 N / mm² é de 25 a 28 m / min, (*SKF, 1987*).

A recomendação do fabricante para velocidade de conformação com machos laminadores (ou de conformação) de aço-rápido no material aço com até 0,20% C é de 8 a 13 m / min, (*OSG, 2001*).

A recomendação do fabricante para velocidade de corte com escareadores de aço-rápido no material aço 1020 é de 20 m / min.

ANEXO I - MÃO-DE-OBRA

Os valores da mão-de-obra podem ser obtidos em várias fontes, neste trabalho, foram extraídos da pesquisa publicada no mês de Novembro de 2002, (*Deloitte Touche Tohmatsu, 2002*).

Os valores médios encontrados na Região Sul do país foram escolhidos, sendo que na Tabela 53 são também apresentados os valores mínimos e máximos sem encargos sociais.

Tabela 53 - Mão-de-obra sem encargos sociais na Região Sul, (Deloitte Touche Tohmatsu, 2002).

Função	Código	Ramo	Salário UM / mês		
			Mínimo	Máximo	Média ponderada
Operador de máquinas de produção	882	Metalúrgico	2031,47	4797,20	2954,55
Montador	872	Metalúrgico	1545,45	5213,29	2975,52
Mecânico de autos	862	Serviços	3692,31	5199,30	4821,68

Os encargos sociais variam para cada ramos de empresa, na Tabela 54 encontram-se os valores dos ramos Indústria e Serviços (ou Manutenção), (*Vianna, 2000*).

Tabela 54 - Encargos sociais pagos pela empresa, (Vianna, 2000).

Descrição do encargo	% sobre o salário nominal
INSS (Instituto Nacional de Seguro Social)	20 %
SAT (Seguro de Acidente de Trabalho)	3 %
Terceiros (INCRA, SENAI, SESC, SESI, SEBRAE, Sal. Educação)	5,8 %
FGTS (Fundo de Garantia por Tempo de Serviço)	8,5 %
Férias	20,14 %
Décimo terceiro salário	11,33 %
TOTAL dos encargos	68,77 %

Códigos FPAS (Fundo de Previdência e Assistência Social) utilizados:

?? Indústria – 507

?? Manutenção – 515

Códigos do SAT (Seguro de Acidente de Trabalho) utilizados:

?? Fábrica de produtos de metal – 28.99-1

?? Manutenção e reparação de veículos – 50.20-2

ANEXO J - MEDIDA DE TEMPO DOS MÉTODOS - MTM

Os termos estudo de tempos e estudo de movimentos receberam diversas interpretações desde sua origem. O estudo de tempos, introduzido por Taylor, foi utilizado principalmente na determinação de tempos-padrão e o estudo de movimentos, desenvolvido pelo casal Gilbreth, foi empregado na melhoria de métodos de trabalho.

Apesar de Taylor e Gilbreth terem desenvolvido os seus trabalhos na mesma época, deu-se maior ênfase ao estudo de tempos e ao valor por peça do que ao estudo de movimentos. Na atualidade dá-se maior valor a determinar o método ideal ou ao que mais se aproxima do ideal para ser utilizado na prática, (*Barnes, 1995*).

O estudo da Medida de Tempo dos Métodos (MTM, *Methods-Time Measurement*) é um sistema que analisa cada operação manual, decompondo-a em movimentos básicos, necessários à sua execução e que atribui a cada movimento um tempo pré-determinado, conforme a natureza do movimento e as condições nas quais se realiza.

Os tempos padrões foram estabelecidos para um operador médio, empregando um método constante com habilidade média, desenvolvendo um esforço médio e dentro de condições médias de trabalho. Pode-se dizer que o MTM é uma ferramenta básica que possibilita efetuar estudos de tempo sem cronômetro, (*Toledo Jr., 1986*).

As tabelas de MTM contêm símbolos que identificam as diversas operações, conforme Tabela 55, sendo os tempos expressos em Unidade de Medida de Tempo (TMU, *Time Measurement Unit*), e equivalem a 0,00001 de hora, (*Barnes, 1995*).

Tabela 55 - Simbologia utilizada para MTM.

Símbolo	Significado em inglês	Significado em português
R	<i>Reach</i>	Alcançar
M	<i>Move</i>	Movimentar
T	<i>Turn round</i>	Girar
AP	<i>Apply pressure</i>	Aplicar Pressão
G	<i>Grip</i>	Agarrar
P	<i>Position</i>	Posicionar
RL	<i>Release</i>	Soltar
D	<i>Dismount</i>	Desmontar
ET	<i>Eye turn</i>	Mover os olhos
EF	<i>Eye Focus</i>	Focalizar com os olhos
FM	<i>Foot Movement</i>	Movimentar os pés
SS	<i>Side Step</i>	Passo Lateral
W	<i>Walk</i>	Andar

As tabelas com os tempos TMU para cada operação descrita encontram-se em livros especializados (conforme bibliografia), a Tabela 56 traz um exemplo.

Tabela 56 - Exemplo de tabela de Tempos TMU, (Toledo Jr., 1986).

TABELA N.º 1 - ALCANÇAR

DISTÂNCIA MOVIMEN- TADA mm	DISTÂNCIA MOVIMEN- TADA Polegadas	TEMPO TMU				Mão em Movimento		Caso e Descrição
		A	B	C ou D	E	A	B	
19	3/4	2.0	2.0	2.0	2.0	16	16	A. Alcance objeto em localização fixa ou objeto em outra mão ou na outra mão onde se encontra.
25	1	2.5	2.5	3.6	2.4	2.3	2.3	
50	2	4.0	4.0	5.9	3.8	3.5	2.7	
75	3	5.3	5.3	7.3	5.3	4.5	3.6	B. Alcance um único objeto em posição que poderá variar um pouco de posição em cada ciclo.
100	4	6.1	6.4	8.4	6.8	4.9	4.3	
125	5	6.5	7.8	9.4	7.4	5.3	5.0	
150	6	7.0	8.6	10.1	8.0	5.7	5.7	
175	7	7.4	9.3	10.8	8.7	6.1	6.5	
200	8	7.9	10.1	11.5	9.3	6.5	7.2	C. Alcance o objeto misturado com outros
225	9	8.3	10.8	12.2	9.9	6.9	7.9	
250	10	8.7	11.5	12.9	10.5	7.3	8.6	
300	12	9.6	12.9	14.2	11.8	8.1	10.1	
350	14	10.5	14.4	15.6	13.0	8.9	11.5	D. Alcance um objeto muito pequeno ou onde segurar cuidadosamente é requerido.
400	16	11.4	15.8	17.0	14.2	9.7	12.9	
450	18	12.3	17.2	18.4	15.5	10.5	14.4	
500	20	13.1	18.6	19.8	16.7	11.3	15.8	
550	22	14.0	20.1	21.2	18.0	12.1	17.3	
600	24	14.9	21.5	22.5	19.2	12.9	18.8	E. Alcance uma posição indefinida para pôr a mão em posição para balancear o corpo ou para o próximo movimento ou para tirar do caminho.
650	26	15.8	22.9	23.9	20.4	13.7	20.2	
700	28	16.7	24.4	25.3	21.7	14.5	21.7	
750	30	17.5	25.8	26.7	22.9	15.3	23.2	

Livros Grátis

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

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

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

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

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