



Tomás Manuel Martins Cabrita

Licenciado em Ciências da Engenharia Mecânica

**Metodologia de Apoio à Seleção de
Sistemas de Aperto Giratórios para
Operações de Maquinação**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Mecânica

Orientador: Professor Doutor António José Freire Mourão,
Professor Associado, FCT-UNL

Co-orientador: Armando Pedro da Silva, Mestre em
Engenharia Mecânica, Hanon Systems

Júri:

Presidente: Professor Doutor João Manuel Vicente Fradinho, Professor
Auxiliar da FCT-UNL

Arguente: Professor Doutora Carla Maria Moreira Machado, Professora
Auxiliar da FCT-UNL

Engenheiro Nuno Alexandre de Carvalho Guerin Responsável
Técnico pelo desenvolvimento de produto, Hanon Systems

Vogal: Professor Doutor António José Freire Mourão, Professor
Associado, FCT-UNL

Metodologia de Apoio à Seleção de Sistemas de Aperto Giratórios para Operações de Maquinação

Copyright © 2016 Tomás Manuel Martins Cabrita, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Agradecimentos

Gostaria de agradecer ao meu orientador, Professor Doutor António Mourão, pela oportunidade de realizar a presente dissertação. Pela sua disponibilidade, ajuda ao longo deste trabalho, pelo seu empenho nos esclarecimentos de dúvidas, pelas críticas construtivas, correções e sugestões e por toda a confiança em mim depositada. Igualmente à Professora Doutora Carla Machado pela enorme prontidão e colaboração proporcionada.

Ao Engenheiro Nuno Guerin, pela sua disponibilidade, que foi fulcral para o decorrer da presente dissertação. Ao Engenheiro Armando Silva por toda a ajuda, empenho, conhecimento transmitido e prontidão em fornecer a informação necessária para a realização dos casos de estudo.

Gostaria de agradecer à minha família, com um apreço especial aos meus pais, que sempre acreditaram e confiaram em mim, à minha irmã Marta, que sempre me apoiou incondicionalmente, bem como ao meu avô, José Inácio, que nunca duvidou das minhas capacidades. A todos vós um eterno obrigado!

Aos meus tios e primos pelos bons momentos de descompressão e ajuda, tantas vezes proporcionados nestes cinco anos.

Agradeço a todos os meus amigos, em especial, aos sempre presentes “7 e derivados” que sem qualquer dúvida completaram e tornaram inesquecível esta experiência.

Resumo

A dissertação tem como objetivo a elaboração de uma metodologia que permita apoiar a seleção de sistemas de aperto giratórios para operações de maquinação.

Este estudo surge devido à dificuldade em encontrar informação sistematizada para a criação de soluções para a fixação de peças de modo expedito, cumprindo geometrias e requisitos de projeto complexos.

Para a realização da presente dissertação, efetuou-se um levantamento de sistemas de aperto, existentes na literatura e disponibilizados por fabricantes. A informação recolhida foi organizada, de modo a agrupar diferentes características para criar a metodologia fundamentada nos requisitos das peças e dos elementos de fixação. A metodologia é composta por cinco fluxogramas, nomeadamente: 1) decisão quanto ao número de peças a maquinar; 2) tomada de decisão para quantidades elevadas; 3) tomada de decisão para quantidades reduzidas; 4) tomada de decisão para torneamento com contraponto; 5) tomada de decisão para casos especiais

A metodologia foi aplicada em cinco casos de estudo distintos. Em quatro destes, comparou-se os resultados obtidos com soluções fornecidas por uma empresa industrial de produção em série e por diferentes fabricantes de sistemas de fixação. Verificou-se que as soluções geradas pelo método desenvolvido são compatíveis com as apresentadas pela empresa industrial e pelos diferentes fabricantes de sistemas de fixação.

Como conclusão do trabalho realizado, afirmar-se que a metodologia desenvolvida é de grande utilidade na seleção de sistemas de aperto giratórios, devendo ser aplicado por técnicos qualificados.

Palavras-chave: Tomada de decisão em engenharia, operações de maquinação, seleção de sistemas de fixação, tolerâncias de fabrico.

Abstract

The aim of this master thesis is to develop a methodology to help support decision making, with the search and selection of a lathe clamping system.

This study arises from the great difficulty on finding prompt solutions with fixturing parts, fulfilling complex geometries and project requirements.

A careful research was required to gather information of all the different types of existing systems. This information was then arranged by different characteristics, allowing the creation of the methodology based on the requirements of parts and fixturing elements.

This methodology is based on five flowcharts, namely: 1) Decision regarding the number of parts to machine; 2) decision making for large quantities; 3) decision making for small quantities; 4) decision making for turning between centers; 5) decision making for special cases. A few case studies with different features were then tested on this methodology, for each scenario, revealing a viable solution for each test case available in the market.

From this study it is reasonable to state that the developed methodology it's a huge help on the selection of lathe fixtures, when applied by a qualified technician.

Keywords: Engineering decision-making, machining operations, selection of fixturing systems, manufacturing tolerances.

Índice

Agradecimentos	v
Resumo	vii
Abstract	ix
1 Introdução.....	1
1.1 Contexto e motivação.....	1
1.2 Objetivos	2
1.3 Estrutura da dissertação.....	2
2 Aspectos a considerar na criação de um sistema de fixação	5
2.1 Criação de uma ferramenta de fixação, aperto e localização	5
2.2 Localizar e referenciar.....	7
2.2.1 Princípios de localização de peças	7
2.2.2 Diretrizes para o posicionamento de pinos de localização	8
2.2.3 Evitar o uso de localizadores redundantes	9
2.2.4 Escolha da dimensão e tolerância do localizador.....	11
2.3 Sistemas de aperto.....	11
2.3.1 Requisitos básicos	11
2.3.2 Posicionamento de grampos.....	12
2.3.3 Força de aperto	13
2.3.4 Elementos de fixação rígidos versus elásticos.....	13
3 Tipos de sistemas de aperto existentes	15
3.1 Ferramentas de fixação.....	15
3.1.1 Sistemas de aperto giratórios.....	16
3.2 Síntese de sistemas de aperto em torno	40
3.3 Acessórios de torneamento.....	43
3.3.1 Pontos e contrapontos.....	43
3.3.2 Placa de arrasto e <i>Lathe Dogs</i>	44
3.3.3 Luneta.....	44

3.3.4	Compensação centrífuga	46
3.3.5	Indexação	47
3.3.6	Sistemas de controlo de posição de peças em porta-peças.....	47
3.4	Diferentes meios usados para localizar uma peça	49
3.5	Tipos de grampos de aperto.....	53
3.5.1	Strap Clamps	53
3.5.2	Screw Clamps.....	54
3.5.3	Hook Clamps.....	56
3.5.4	Cam Clamp.....	56
4	Metodologia.....	59
4.1	Estrutura da metodologia	59
4.1.1	Critérios de decisão e comentários de auxílio ao uso dos Fluxogramas	60
4.1.2	Fluxograma de apoio à decisão da seleção de sistemas de aperto giratórios ..	60
4.1.3	Fluxograma de tomada de decisão para quantidades reduzidas	60
4.1.4	Fluxograma de tomada de decisão para peça única ou quantidades reduzidas	60
4.1.5	Fluxograma de tomada de decisão para torneamento com contraponto.....	60
4.1.6	Fluxograma de tomada de decisão para casos especiais	60
4.2	Casos de estudo	69
4.2.1	1º Caso de estudo	69
4.2.2	2º Caso de estudo	80
4.2.3	3º Caso de Estudo.....	90
4.2.4	4º Caso de Estudo.....	98
4.2.5	5º Caso de estudo peça única.....	100
5	Conclusão	107
	Bibliografia	109
	Anexos	111

Índice de Figuras

Figura 2-1 Cinco passos para um bom desenho sistemático[1]	5
Figura 2-2 Possibilidades de movimentos de uma peça [5].....	8
Figura 2-3 Princípio de Localização 3-2-1 [4].....	8
Figura 2-4 Diferentes posicionamentos para os mesmos localizadores, sendo a) o correto, b) e c) maus posicionamentos.....	9
Figura 2-5 Superfície de referência [4].....	10
Figura 2-6 Localização redundante a), a evitar, e possíveis soluções b) e c)[6].....	10
Figura 2-7 Dispositivos por pino que garantem a correcta montagem da peça no porta-peça [4]	10
Figura 2-8 Dispositivo em bloco usado para impedir a incorrecta montagem da peça no porta-peça [4]	11
Figura 2-9 Uso de um grampo pescoço de ganso de modo a reduzir altura [4].....	13
Figura 2-10 Ilustração de elemento de fixação rígido, a), e elástico, b) [7].....	13
Figura 3-1 Classificação das ferramentas de fixação [10]: a) permanentes, b) modulares e c) universais.....	16
Figura 3-2 Denominações comuns para apertos giratórios em função da localização da zona de aperto da peça [7]	17
Figura 3-3 Diagrama ilustrativo e exemplificativo da perda de capacidade de aperto [11]..	17
Figura 3-4 Tipos de fixação em torno [12], [13].....	18
Figura 3-5 Montagem tipo A	20
Figura 3-6 Montagem tipo C.....	20
Figura 3-7 Montagem tipo D	21
Figura 3-8 Montagem tipo L.....	21
Figura 3-9 Representação de mandril plano.....	21
Figura 3-10 Mandril expansível.....	21
Figura 3-11 Princípios de funcionamento de alguns tipos de aperto em mandril e <i>collet</i> [8]	23
Figura 3-12 Mandril expansível comum [13], [18].....	24
Figura 3-13 Mandril expansível com segment sleeve [13]	24
Figura 3-14 Mandril de manga extensível por rolos [8].....	25
Figura 3-15 Mandril tipo <i>Collet</i> [8]	25
Figura 3-16 Mandril de grampos móveis[8]	26
Figura 3-17 Mandril para peças roscadas [8].....	26
Figura 3-18 Mandril de compensação duplo para furos com variação de diâmetro [8].....	27

Figura 3-19 Mandril de engrenagens internas [8]	27
Figura 3-20 Mandril para anéis de grande diâmetro [8].....	28
Figura 3-21 Mandril para furos escalonados [8].....	28
Figura 3-22 Pontos chave para uma escolha adequada de bucha.....	29
Figura 3-23 Bucha de diafragma (<i>Diaphragm Chuck</i>) [21].....	30
Figura 3-24 Representação do método de funcionameto de buchas diafragma [19]	30
Figura 3-25 Bucha de 3 grampos (<i>3 Jaws Chuck</i>) com grampos maquináveis [22]	31
Figura 3-26 Bucha de 4 grampos independentes [23].....	31
Figura 3-27 Bucha de 6 grampos compensantes [23]	32
Figura 3-28 Bucha em consola [23].....	32
Figura 3-29 <i>Pin Arbor chuck</i> (aperto exterior) [22].....	33
Figura 3-30 <i>Swing Chuck</i>	33
Figura 3-31 <i>Ball Lock chuck</i> [22].....	33
Figura 3-32 <i>Face clamp chuck</i> [23]	34
Figura 3-33 <i>Finger Chuck</i> [23]	34
Figura 3-34 Bucha <i>Twist finger</i> [23].....	35
Figura 3-35 <i>Face cam chuck</i> [23]	35
Figura 3-36 Bucha magnética híbrida.....	36
Figura 3-37 Representação esquemática das linhas de campo magnético em <i>on</i> e <i>off</i> [25]..	36
Figura 3-38 Exemplo de bucha especial [26].....	36
Figura 3-39 Buchas <i>Collet</i> [22].....	37
Figura 3-40 Representação gráfica de tolerâncias em buchas centrantes em relação ao seu diâmetro [30]	43
Figura 3-41 1-Ponto fixo 2-Ponto rotativo 3-Ponto rebaixado 4-Ponto de arraste	44
Figura 3-42 Diferentes tipos de <i>Lathe dogs</i> [8]	44
Figura 3-43 Exemplos de aplicações de diferentes conjuntos de placas de arrasto e <i>lathe dogs</i>	44
Figura 3-44 Luneta Fixa em torno de grandes dimensões [31].....	45
Figura 3-45 Luneta fixa [8], [32]	45
Figura 3-46 Acessório usado para peças irregulares (<i>CatsHead</i>).....	45
Figura 3-47 Luneta Móvel [32].....	46
Figura 3-48 Luneta Autocentrante [13].....	46
Figura 3-49 Bucha com compensação centrífuga.	46
Figura 3-50 a) Bucha com indexação b) Tipologia de peças torneadas com bucha de indexação	47
Figura 3-51 Sistema de encosto com 3 pontos de controlo por pressão.....	48
Figura 3-52 Vista em corte de bucha com <i>Air Sensing</i> [13]	48

Figura 3-53 Exemplo de Sistema de limpeza tipo Blast Air [13]	48
Figura 3-54 a) Kit de elementos de aperto simples [5] e b) Representação de uso recorrente de caços e grampos [8].....	53
Figura 3-55 Classes de strap clamps [7]	53
Figura 3-56 Otimização da força de aperto [7]	54
Figura 3-57 Screw Clamp com transmissão de força indireta [7].....	54
Figura 3-58 Hook Clamp [8].....	56
Figura 3-59 Atuação direta a) e Atuação indireta b) de Cam clamps [9].....	56
Figura 3-60 Parafuso de cabeça excêntrica com elemento de aperto hexagonal [8].....	57
Figura 3-61 Grampos com princípio do plano inclinado [9].....	57
Figura 4-1 Critérios de decisão e comentários de auxílio ao uso dos fluxogramas	61
Figura 4-2- Fluxograma 0, tomada de decisão quanto à utilização de contraponto e posteriormente quanto ao número de peças.	62
Figura 4-3- Fluxograma 1, Tomada de decisão para quantidades elevadas.....	63
Figura 4-4- Fluxograma 1, Tomada de decisão para quantidades elevadas (continuação)...	65
Figura 4-5 Fluxograma 2, Tomada de decisão para peça única ou quantidades reduzidas...	66
Figura 4-6- Fluxograma 3, tomada de decisão para torneamento com contraponto	67
Figura 4-7- Fluxograma 4, Tomada de decisão para casos especiais.....	68
Figura 4-8 1º Caso de estudo	69
Figura 4-9 Seleção das superfícies de referência 1º caso de estudo, OP10.....	70
Figura 4-10 Faces de referência da primeira operação(1º caso de estudo, OP10)	71
Figura 4-11 Superfícies a torner na OP10 (1º caso de estudo).....	71
Figura 4-12 Caminho escolhido para a OP10 no Fluxograma 0 (1º caso de estudo).....	72
Figura 4-13 Caminho escolhido para a OP10 no Fluxograma 1 (1º caso de estudo).....	72
Figura 4-14 Tipos de buchas possíveis para a OP10 do catálogo da SMW	74
Figura 4-15 Bucha escolhida para a OP10 pertencente ao catálogo SMW [18]	74
Figura 4-16 Exemplo de requisitos de projeto que determinam a fixação da peça (1º caso de estudo) na OP20.....	75
Figura 4-17 <i>Datums</i> relevantes para o aperto da peça na OP20 (1º caso de estudo)	75
Figura 4-18 Faces de referência da OP20 (1º caso de estudo)	76
Figura 4-19 Superfícies a torner na OP20 (1º caso de estudo).....	76
Figura 4-20 Caminho escolhido para a OP20 no fluxograma 0 (1º caso de estudo).....	77
Figura 4-21 Caminho escolhido para a OP20 no fluxograma 1 (1º caso de estudo) (cont) ..	77
Figura 4-22 Caminho escolhido para a OP20 no fluxograma 1 (1º caso de estudo).....	78
Figura 4-23 Tipo de buchas possíveis para a OP20 do catálogo da SMW	79
Figura 4-24 Buchas escolhidas para a OP20 pertencente ao catálogo SMW [40]	79
Figura 4-25 2º Caso de estudo	80

Figura 4-26 Seleção das superfícies de referência (2º caso de estudo OP10).....	81
Figura 4-27 Faces de referência para a primeira operação (2º Caso de estudo OP10)	81
Figura 4-28 Superfícies a toronar na OP10 (2º caso de estudo).....	82
Figura 4-29 Caminho escolhido para a OP10 no Fluxograma 0 (2º caso de estudo).....	82
Figura 4-30 Caminho escolhido para a OP10 no Fluxograma 1(2º caso de estudo).....	83
Figura 4-31 Tolerância de posição dependente dos datums D, B e C (2º caso de estudo)....	84
Figura 4-32 Tipo de bucha possíveis para a OP10 do catálogo da SMW	85
Figura 4-33 Bucha escolhida para a OP10 pertencente ao catálogo SMW [18].....	85
Figura 4-34 Seleção das superfícies de referência (2º caso de estudo OP20).....	86
Figura 4-35 Datum G com furos com tolerâncias de posição dependentes da face de encosto (datum D) e dos furos (datum E-F).....	86
Figura 4-36 Faces de referência da OP20 (2º caso de estudo).....	86
Figura 4-37 Superfícies a toronar na OP20 (2º caso de estudo).....	87
Figura 4-38 Caminho escolhido para a OP20 no Fluxograma 0 (2º caso de estudo).....	87
Figura 4-39 Caminho escolhido para a OP20 no Fluxograma 1 (2º caso de estudo).....	88
Figura 4-40 Tipo de buchas possíveis para a OP20 do catálogo da SMW	89
Figura 4-41 Buchas escolhidas para a OP20 pertencente ao catálogo SMW[40].....	90
Figura 4-42 3º Caso de Estudo.....	90
Figura 4-43 Desenho referente ao 3º caso de estudo e tolerâncias associadas.....	91
Figura 4-44 Zona de aperto e de torneamento para a OP10 (3º caso de estudo).....	91
Figura 4-45 Caminho escolhido para a OP10 no Fluxograma 0 (3º caso de estudo).....	92
Figura 4-46 Caminho escolhido para a OP10 no Fluxograma1 (3º caso de estudo) (cont.) ..	92
Figura 4-47 Caminho escolhido para a OP10 no Fluxograma1 (3º caso de estudo).....	93
Figura 4-48 Tipo de Collets possíveis para a OP10 do catálogo SMW	94
Figura 4-49 Zona de aperto e de torneamento para a OP20 (3º caso de estudo).....	94
Figura 4-50 Referências para o aperto da peça na OP20 (3º Caso de Estudo).....	95
Figura 4-51 Caminho escolhido para a OP20 no fluxograma 0 (3º caso de estudo).....	95
Figura 4-52 Caminho escolhido para a OP20 no Fluxograma1, 3º caso de estudo, (cont.)..	96
Figura 4-53 Caminho escolhido para a OP20 no fluxograma1 (3º caso de estudo).....	97
Figura 4-54 Tipo de Collets possíveis para a OP10 do catálogo SMW	98
Figura 4-55 4º Caso de estudo	98
Figura 4-56 Desenho do 4º caso de estudo	99
Figura 4-57 Caminho escolhido para a OP10 no Fluxograma 0 (4º caso de estudo).....	99
Figura 4-58 Caminho escolhido para a OP10 no Fluxograma 3 (4º caso de estudo).....	100
Figura 4-59 Esquema da opção escolhida como solução da OP10 (4º caso de estudo).....	100
Figura 4-60 5º Caso de estudo	101
Figura 4-61 Caminho escolhido para a OP10 no Fluxograma 0 (5º caso de estudo).....	101

Figura 4-62 Caminho escolhido para a OP10 no Fluxograma 2 (5º caso de estudo).....	102
Figura 4-63 Tipo de buchas possíveis para a OP10 do catálogo da SMW	103
Figura 4-64 Caminho escolhido para a OP20 no Fluxograma 0 (5º caso de estudo).....	104
Figura 4-65 Caminho escolhido para a OP20 no Fluxograma 2 (5º caso de estudo).....	105
Figura 4-66 Tipo de buchas possível para a OP20 do catálogo Toolmex (5º caso de estudo)	106

Índice de Tabelas

Tabela 1- Folha de Verificações para auxílio da criação de um sistema de fixação [1]	6
Tabela 2- Meio de atuação	19
Tabela 3- Normas sobre tipos de montagem de buchas em torno [15], [16], [17].....	20
Tabela 4- Diferentes tipos de Mandris	24
Tabela 5- Tipos de buchas para torno	30
Tabela 6- <i>Collet Chucks</i> vantagens e desvantagens [27]	39
Tabela 7- Categorização por tipo e género de sistemas de aperto rotativos.....	40
Tabela 8- Comparação sintética entre sistemas de fixação para peças em torno [28]	41
Tabela 9- Comparação entre tipos de montagem e tolerância [29].....	42
Tabela 10- Estratégia de colocação de pinos-guia	49
Tabela 11- Pinos de Localização para furos tabela síntese.	51
Tabela 12- Variantes comerciais de Screw Clamps	55

1

Introdução

1.1 Contexto e motivação

A produção em massa tornou-se algo essencial para garantir a competitividade das empresas. Para o efeito foi necessário o desenvolvimento de métodos de produção que permitissem, por um lado, taxas de produção elevadas e, por outro lado, o cumprimento das especificações para garantir a qualidade do fabrico. No caso da peça maquinada, a qualidade é determinada pelo cumprimento das tolerâncias, normalmente apertadas. Como é sabido, a fixação da peça na máquina-ferramenta é um fator determinante para a criação de condições favoráveis ao cumprimento e manutenção de desvios aceitáveis no fabrico. É também bem conhecido que o tempo associado à carga/descarga da peça na máquina-ferramenta contribui de forma significativa no tempo de produção.

Surgiram, conseqüentemente, diversos dispositivos, não só para fixar as peças que estavam a ser produzidas, mas também para guiar as ferramentas sobre as mesmas. Estes dispositivos permitiram a introdução de operários menos qualificados para a replicação da mesma função, em que os resultados do trabalho eram mais previsíveis, menos demorados e, conseqüentemente, mais baratos.

O uso deste tipo de suportes foi alargado não só ao fabrico, como a outros domínios, tais como o controlo dessas mesmas peças, uma vez que diminui o risco de erro humano e permite uma redução dos tempos de produção.

No universo dos sistemas de fixação existem diversas soluções, muitas delas normalizadas.

O problema de uma infindável quantidade de soluções, é categorizá-las e torná-las de fácil e assertiva escolha. Esta problemática é, até ao momento, combatida através de técnicos altamente experientes e conhecedores do mercado, ou através do elevado número de fóruns e sites, sustentados por fabricantes ou pelos mesmos técnicos.

Durante a pesquisa para a dissertação surgiu um problema de relacionar os dispositivos encontrados com a sua designação em português. As normas ISO, a bibliografia e a grande maioria dos vendedores disponibiliza somente informação em inglês, francês ou alemão de

modo que encontrar a correspondência exata da nomenclatura para português revelou-se um desafio.

A presente dissertação foi elaborada na sequência de outras duas, intituladas de “Estudo da Industrialização de Peça Complexa com Base nas Tolerâncias” e “Contributo metodológico para a definição da sequência de maquinação baseada em tolerâncias”, da autoria dos alunos Rui Pires e Nuno Palma, respetivamente. Com estes trabalhos pretende-se criar um corpo de metodologias que dê suporte à tomada de decisão na preparação de trabalho para a maquinação em série.

É de referir que a metodologia proposta nesta dissertação tem como âmbito apenas apoios giratórios, portanto, tipicamente aplicada a maquinações em torno.

1.2 Objetivos

O objetivo desta dissertação é a criação de uma metodologia de apoio à seleção de sistemas de aperto giratórios, em maquinação. A pertinência para a criação desta metodologia provem da existência de um conjunto muito alargado de sistemas e acessórios usado para a fixação de peças, não sendo fácil, contudo, encontrar guias de orientação para a seleção racional dos mesmos.

Para tal revelou-se essencial a pesquisa e estudo dos seguintes pontos:

- Passos de criação de uma ferramenta de fixação;
- Princípios de localização de peças;
- Os requisitos de que um bom sistema de aperto da peça deve obedecer;
- Diferenciação dos tipos de fixações;
- Estudo da peça relacionado com a fixação;
- Dispositivos de segurança e controlo.

1.3 Estrutura da dissertação

A dissertação encontra-se repartida por cinco partes com os conteúdos abaixo indicados:

No capítulo 1 é apresentado a origem do tema e explicada a motivação que levou à sua escolha. É estabelecido o objetivo pretendido para a dissertação.

O capítulo 2 aborda o problema do desenvolvimento de sistemas de fixação, enquadrando-o com diferentes abordagens.

No capítulo 3 são dados a conhecer os diferentes tipos de sistemas de fixação existentes no mercado, bem como na literatura.

O capítulo 4 é referente à metodologia criada, seguindo-se de cinco casos de estudo de aplicação da mesma.

No quinto e último capítulo são apresentadas as conclusões obtidas da criação da metodologia, bem como são efetuadas propostas de trabalho futuro.

2

Aspetos a considerar na criação de um sistema de fixação

2.1 Criação de uma ferramenta de fixação, aperto e localização

Qualquer projeto de criação de uma solução de um sistema de fixação da peça para maquinação deve obedecer a uma sequência de passos, tal como a Figura 2-1 apresenta.

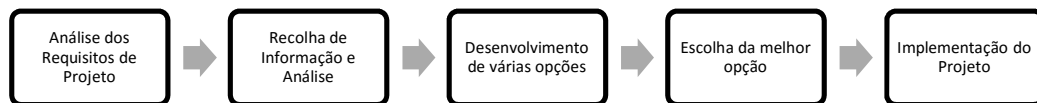


Figura 2-1 Cinco passos para um bom desenho sistemático[1]

O primeiro passo – requisitos de projeto- visa recolher o máximo de informação possíveis sobre o problema a ser resolvido. Os requisitos devem ser expressos da forma mais ampla quanto possível, mas suficientemente específicos para definir o âmbito do projeto.

A solução tanto pode ser para a produção de peças novas, como para melhorar um sistema de fixação já existente. Se for o caso de algo já existente, o objetivo deve ser melhorar a precisão do trabalho realizado com esse aperto e/ou diminuir o tempo de ciclo.

A informação deve ser recolhida, analisada e guardada de modo a ser facilmente acessível e de fácil compreensão. A Tabela 1 apresenta uma folha de verificações a ser utilizada na análise do desenho para conceber a solução do aperto.

Durante esta tarefa, o principal objetivo é criar opções e não deve ser uma preocupação descartar alguma. Tendo em conta os requisitos do projeto, o custo inicial da solução, e todos os

outros custos associados com por exemplo custos de set-up¹, será sempre o critério determinante, porém sem por em causa a funcionalidade. Contudo, a quantidade de peças a produzir é talvez o fator determinante na solução a adotar.

A fase final do desenvolvimento da ferramenta consiste em concretizar o projeto escolhido, acrescentando ao projeto os detalhes finais, criando os desenhos definitivos e fazendo os testes da ferramenta caso necessário [1].

Tabela 1- Folha de Verificações para auxílio da criação de um sistema de fixação [1]

<p>Peça</p> <ul style="list-style-type: none">▪ Dimensões (largura, comprimento, volume)▪ Forma (quadrada, cilíndrica, esférica, cônica, outra)▪ Precisão requerida (tolerâncias)▪ Tipos de Material (aço, alumínio, ferro fundido, cerâmico, compósito, outros)▪ Condições do Material (laminado a frio, laminado a quente, forjado, outros)▪ Pontos de localização (Pag. 7 (faces maquinadas, furações, ranhuras, outros))▪ Estabilidade da zona de localização (rigidez e fragilidade)▪ Faces a utilizar grampos (zonas a realizar o aperto, não danificar a peça, outras)▪ Quantidade de produção (pequenas séries, grandes lotes, produção em série) <p>Operações</p> <ul style="list-style-type: none">▪ Tipos de operações (corte, montagem, outros)▪ Número de operações separadas (similares vs diferente, sequencial vs simultâneo)▪ Sequência de operações (operações primárias, secundárias, tratamentos térmicos, acabamentos)▪ Requisitos de inspeção <p>Equipamento</p> <ul style="list-style-type: none">▪ Máquinas Ferramenta (potência, limitações de dimensões, limitações de peso outros)▪ Ferramentas de corte▪ Máquinas especiais▪ Equipamento de montagem e respectivas ferramentas▪ Equipamento de inspeção e respectivas ferramentas▪ Disponibilidade do equipamento e agendamento▪ Espaço requerido nas instalações <p>Pessoal</p> <ul style="list-style-type: none">▪ Equipamentos de segurança (para as máquinas, operadores e fábrica)▪ Regras de trabalho e procedimentos de segurança▪ Economia de movimento (troca de peça)▪ Possibilidade de automatização

¹ É o processo de conversão de um equipamento para realizar outro produto. Pode requerer ajustes ou “troca de peças” geralmente é uma combinação de ambos [35]

2.2 Localizar e referenciar

Localizar refere-se ao estabelecimento de uma relação desejada entre a peça e o seu dispositivo de fixação.

Os elementos de fixação são criados de modo a garantir a precisão do produto final. Deste modo é essencial no projeto destes dispositivos garantir uma correta localização da peça, relativamente ao sistema de fixação e, conseqüentemente, à ferramenta que executa as operações desejadas.

É aconselhável averiguar todos os graus de liberdade possíveis da peça antes de decidir os pontos onde se dará a localização da mesma [2] e [3].

Referenciar uma peça é um processo duplo de posicionar a peça relativamente ao porta-peça e a mesma relativamente à ferramenta de corte ou à máquina ferramenta.

Referenciar a peça relativamente ao suporte é feito através de elementos de localização [4].

O dispositivo de fixação tem de garantir a repetibilidade, que é a capacidade de efetuar a troca de peça e garantir o cumprimento das tolerâncias nas mesmas condições que a peça anterior [4].

É desejado que sejam restringidos quaisquer movimentos da peça em qualquer direção, através de posicionamento da peça numa posição pré-estabelecida.

2.2.1 Princípios de localização de peças

Qualquer corpo pode ser localizado relativamente a um sistema de três eixos ortogonais. Segundo esses três eixos, existem seis graus de liberdade, três destes pertencentes à translação e os restantes três à rotação. Cada grau de liberdade tem dois sentidos, que resulta em doze possibilidades de movimento para uma peça como representado na Figura 2-2.

Para garantir a posição correta da peça em trabalho, é necessário restringir todos os deslocamentos. O assegurar destas restrições pode ser conseguido através do princípio geométrico, em que três pontos definem um plano (neste caso denominado plano xoy), o que previne a translação, segundo o eixo-z num dos sentidos do eixo, as rotações, segundo os eixo-x e eixo-y.

Em seguida, por dois pontos (que definem o plano xoz), que restringem deste modo a translação segundo o eixo-y, num sentido, e rotação no eixo-z. Ficando, ainda, quatro possibilidades de movimento por fixar, que se consegue através de um ponto na superfície adjacente e os restantes três graus com sistemas de aperto. Este princípio que garante um apoio isostático é normalmente designado por princípio de localização 3-2-1 (ver Figura 2-3).

Neste sistema também deve ser tomada em conta a força de aperto² e a sequência de aperto da peça, de modo a minimizar a deformação do conjunto [3]. A direção das forças de corte, bem como a sua magnitude são determinadas nas forças de aperto.

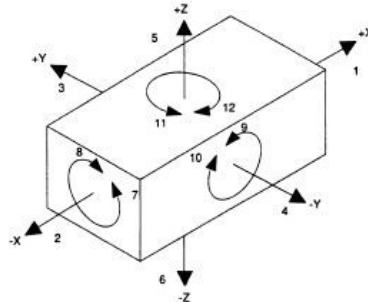


Figura 2-2 Possibilidades de movimentos de uma peça [5]

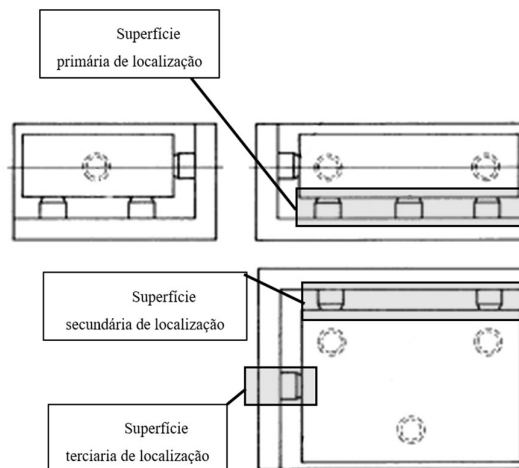


Figura 2-3 Princípio de Localização 3-2-1 [4]

2.2.2 Diretrizes para o posicionamento de pinos de localização

Para um correto posicionamento de pinos de localização, existem alguns pontos básicos que devem ser tidos em conta:

- As superfícies de interface entre a peça e o pino devem ser previamente maquinadas, de modo a permitir uma maior repetibilidade e proporcionar uma localização mais estável. Deste modo não é obrigatória a maquinação integral da face da peça (o que representa um acréscimo de custos elevado), mas sim de pontos de apoio, sobretudo quando nos referimos a peças fundidas.

² A força de aperto (clamping/gripping force) é a soma algébrica de forças individuais no sentido radial, aplicadas pelos grampos sobre a peça [36].

- As melhores superfícies para usar em localização, quando disponíveis, são furos maquinados, pois oferecem uma localização mais completa, com um número mínimo de localizadores. Caso não seja possível, deve optar-se por duas superfícies maquinadas que formem um ângulo reto.
- Os localizadores, como regra, devem ser colocados o mais distante possível. Desta forma são compensadas irregularidades de superfície e é proporcionada uma maior estabilidade à peça.
- Na Figura 2-4 as alíneas a) e b) diferem unicamente do posicionamento de um pino, para mais próximo do outro, o que, para um desvio de posição desse pino da mesma amplitude (representado a tracejado), resulta num maior deslocamento da peça do local pretendido. O posicionamento dos pinos em c) origina um mau posicionamento pois facilita a ocorrência de oscilações.

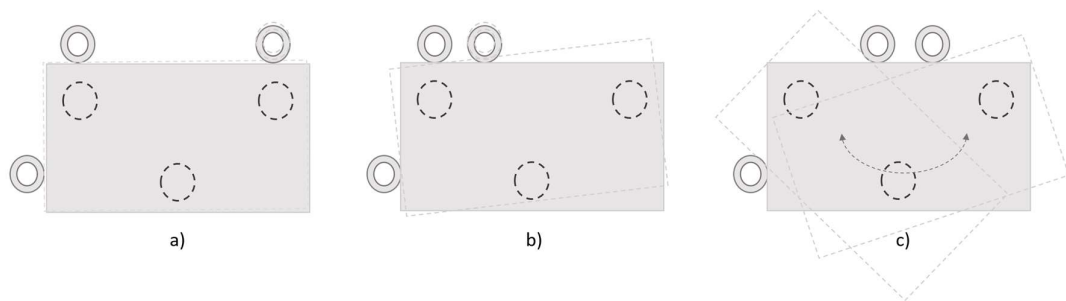


Figura 2-4 Diferentes posicionamentos para os mesmos localizadores, sendo a) o correto, b) e c) maus posicionamentos

2.2.3 Evitar o uso de localizadores redundantes

O uso de sistemas de localização redundante ou em duplicado irá apertar as tolerâncias de fabrico desnecessariamente, uma vez que não fazem parte dos requisitos do projeto, aumentando o custo de produção, bem como o número de peças não aceites que preenchem os requisitos de projeto.

A maneira como uma peça é cotada deverá indicar a superfície de referência, entendendo-se esta como base para realizar medições e para apoio da peça numa maquinação.

Apesar de aparentemente as duas cotagens da Figura 2-5 parecerem equivalentes não o são. As duas cotagens correspondem a funcionalidades diferentes da peça, o que implica cotas funcionais diferentes (as que carecem de tolerâncias) e que traduzem referências distintas.

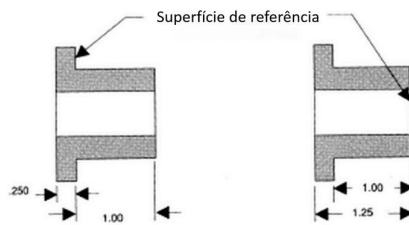


Figura 2-5 Superfície de referência [4]

Na Figura 2-6 é possível constatar que em a) a peça se encontra localizada em duas superfícies ambas com o mesmo intuito. Em b) e c), tal problema não se coloca, sendo só localizada através de uma única superfície que varia consoante a superfície de referência. A situação ilustrada em a) é de todo a evitar, corresponde mesmo a um erro de projeto, uma vez que cria uma indefinição quanto ao encosto.

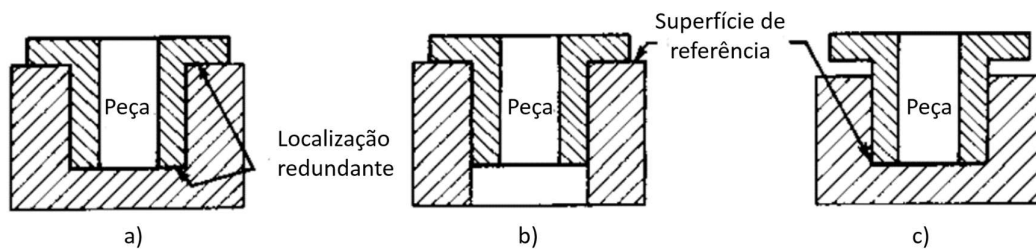


Figura 2-6 Localização redundante a), a evitar, e possíveis soluções b) e c)[6]

Contudo, não deve ser confundido localização redundante com dispositivos que permitem a montagem correta e orientação da peça no porta-peça.

Como se pode constatar na Figura 2-7 e na Figura 2-8, os pinos e o bloco, não localizam a peça, pois não se encontram em contacto com a mesma, mas garantem a orientação.

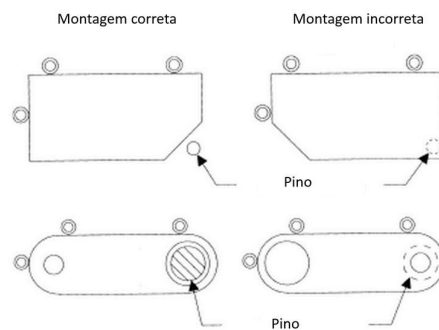


Figura 2-7 Dispositivos por pino que garantem a correcta montagem da peça no porta-peça [4]

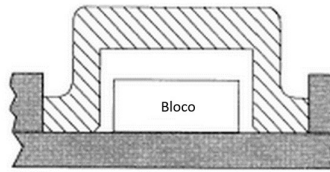


Figura 2-8 Dispositivo em bloco usado para impedir a incorrecta montagem da peça no porta-peça [4]

2.2.4 Escolha da dimensão e tolerância do localizador

De modo a garantir o posicionamento da peça a maquina será do maior interesse dimensionar corretamente todos os elementos que compõem o sistema de fixação da peça. Deste modo são mostrados alguns pontos que deve ser mantidos em mente na seleção de um sistema de fixação.

- A peça em trabalho vai condicionar a dimensão do elemento de localização;
- A principal regra a ter em conta no dimensionamento de um localizador é considerar as dimensões de projeto, em condição de máximo material na área a localizar;
- A precisão geral do porta-peça deve ser superior ao da peça em trabalho. São usados dois tipos básicos de tolerâncias aplicados ao localizador. O primeiro é a tolerância associada à dimensão do localizador e o segundo referente à localização do mesmo no porta-peça [4].

2.3 Sistemas de aperto

2.3.1 Requisitos básicos

O objetivo de um dispositivo de aperto é exercer uma força que impeça o movimento de uma peça, aliado a um elemento de localização num sistema de fixação. Um grampo deve prender a peça e mantê-la segura numa posição estabelecida para o porta-peça. Este sistema é incorporado no porta-peça, sendo que uma escolha correta destes componentes têm uma influência direta sobre a qualidade da peça acabada.

Os requisitos básicos para o sistema de aperto são:

- A escolha de um sistema de aperto simples deverá ser preferencial a um sistema complexo, uma vez que sistemas elaborados têm tendência a perder mais eficiência com o desgaste;
- Deverá sustentar a peça de forma a não deformar a mesma;
- Quando a peça estiver a ser segura, o dispositivo não deverá ferir/danificar a peça;

- O sistema não deverá ser influenciado pelas vibrações mecânicas produzidas pelo processo;
- O sistema deverá ser simples, (ser composto pelo número mínimo de apertos necessários) e permitir uma troca rápida de peça. A manutenção do mesmo deverá ser simples para, por exemplo, permitir uma fácil limpeza da peça resultante da operação de maquinação;
- A pressão das garras deverá ser direcionada para as faces ou pontos de suporte, prevenindo deste modo um deslocamento indesejado da peça;
- As faces dos suportes deverão ser endurecidas através de tratamentos para minimizar o seu desgaste;
- No manuseamento de peças frágeis, deverão ser colocados nos apoios acessórios que previnam o dano da mesma [2] e [3].

2.3.2 Posicionamento de grampos

Como referido em 2.2 a função primordial de um elemento de localização é, não só posicionar a peça, mas também resistir às forças de corte geradas pela operação a que esta peça está sujeita. Os elementos que transmitem a força de aperto à peça são designados por grampos. Necessitam, quase exclusivamente, de dimensão suficiente para suportar a peça contra os elementos de localização e suportar algumas forças secundárias resultantes das forças da operação.

De seguida apresentam-se regras a ter em consideração quando se pretende usar grampos:

- Ter em conta o tipo de operação da máquina-ferramenta ao longo de ciclo de maquinação. Os sistemas de aperto devem estar posicionados de modo a não interferirem com o movimento da ferramenta de corte, quer no processo de corte, quer em todo o movimento passivo da ferramenta (tal posicionamento é especialmente crítico com máquinas de controlo numérico);
- Quando se utiliza um novo sistema de fixação numa máquina-ferramenta CNC (*Computer Numeric Control*), é imperativo verificar o percurso completo percorrido pela ferramenta, quer o projeto sido simulado em CAM (*Computer-Aided Design*) quer seja programado diretamente na máquina;
- A maioria dos grampos são posicionados no topo das superfícies, pelo que a altura total do grampo deve ser acautelada para evitar choques da ferramenta. Isto pode ser conseguido através de grampos de pescoço de ganso (Figura 2-9), caso necessário;
- A área de contacto entre o grampo e a peça é outro fator a ter em conta no posicionamento. Para reduzir a possibilidade de interferência entre o grampo e a ferramenta de corte (choque), a área de contacto deve ser mantida o mais pequena

possível para que a área livre para movimentação da ferramenta seja o maior possível. A redução desta área de contacto, aumenta a pressão exercida na peça o que pode introduzir deformações locais;

- A força de aperto deve ser direccionada para os localizadores para garantir a manutenção da posição; ou para a zona mais rígida do porta-peça e peça para evitar deformações nestes.

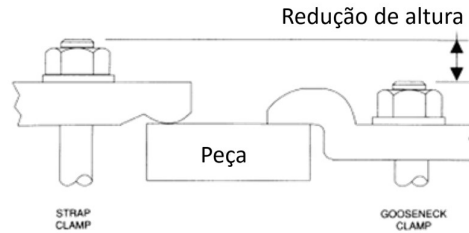


Figura 2-9 Uso de um grampo pescoço de ganso de modo a reduzir altura [4]

2.3.3 Força de aperto

A força de aperto (*clamping/gripping force*) é a requerida para sustentar uma peça de encontro com o localizador.

No projeto de um sistema de fixação é necessário ter em conta o tipo de operações que serão realizadas, de modo a conseguir prever a direção e magnitude das forças aplicadas pela ferramenta[4], [7]–[9].

2.3.4 Elementos de fixação rígidos versus elásticos

Os elementos de fixação rígidos, como o representado na Figura 2-10 em a), têm como desvantagem, que se existir um movimento lateral da peça (numa peça com uma ligeira variação de forma superficial), pode levar a que o parafuso deixe de fazer contacto com a mesma, mas, por outro lado, este tipo de aperto garante resistência a forças ascendentes.

Na fixação elástica representada na Figura 2-10 em b) continua a ser exercida uma força para fixar a peça em trabalho, apesar do movimento lateral da peça ou da alterações de forma desta [7].

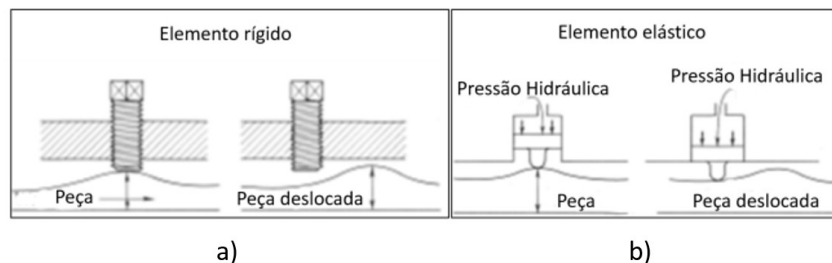


Figura 2-10 Ilustração de elemento de fixação rígido, a), e elástico, b) [7]

3

Tipos de sistemas de aperto existentes

3.1 Ferramentas de fixação

A carga e descarga de peça na máquina-ferramenta representa, num processo de fabrico, uma percentagem elevada do tempo de produção, fazendo com que haja um subaproveitamento do tempo disponível da máquina-ferramenta e, conseqüentemente, uma produtividade aquém do que será possível obter. Uma ferramenta de fixação de peças bem concebida pode reduzir significativamente esse tempo e, desse modo, aumentar a produtividade do trabalho.

As ferramentas de fixação podem ser divididos em três categorias: permanentes, modulares e universais, com representado na Figura 3-1. A esta representação pode ser criada uma analogia para buchas, em que uma bucha permanente será uma bucha com grampos maquinados, uma bucha modular será uma bucha de grampos de troca rápida e, para propósitos gerais, será uma bucha convencional de três grampos.

Na escolha de um sistema de fixação devem ser tidos em conta os seguintes pontos:

- Número de peças a produzir;
- Dimensões das peças a produzir;
- Formas geométricas;
- Tipo de processo a que será submetida a peça;
- Tolerâncias especificadas.

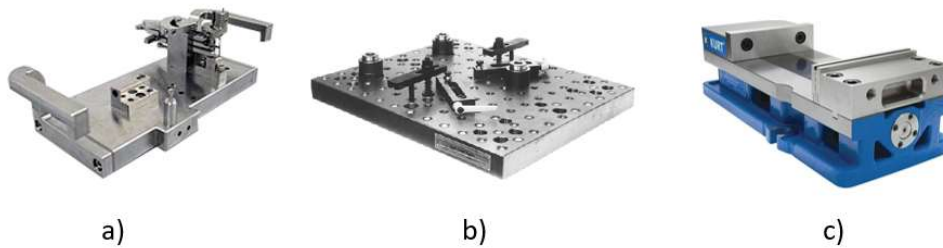


Figura 3-1 Classificação das ferramentas de fixação [10]:
a) permanentes, b) modulares e c) universais

3.1.1 Sistemas de aperto giratórios

Na presente dissertação, é definido como aperto giratório qualquer sistema de aperto que possa ser usado preferencialmente para realizar tarefas em torno mecânico. Todavia, existem máquinas-ferramenta que não um torno onde se pode utilizar apertos giratórios.

Um método para a distinção do tipo de operações pode ser feito através da localização da zona de aperto da peça. Como métodos comuns, existem: aperto interior e exterior, aperto entre-pontos, aperto com arraste, aperto combinado (híbrido) e aperto magnético (Figura 3-2).

Os meios para a transmissão de força, para realizar o aperto da peça, podem ser conseguidos através de atuação manual, hidráulica, pneumática ou elétrica [7]. Os requisitos principais para um bom sistema de aperto em torno mecânico são: segurança, rapidez, precisão e rigidez. Como o gráfico da Figura 3-3 mostra, há uma perda de capacidade de aperto com o aumento rotação para um determinado diâmetro de bucha e este efeito é tanto maior quanto maior for o diâmetro.

Independentemente do tipo de suporte, a peça deve ser apertada no maior diâmetro praticável. Deste modo, é assegurada uma relação mais favorável entre o aperto e a ferramenta de corte. Deste modo, a força de aperto poderá ser mais reduzida.

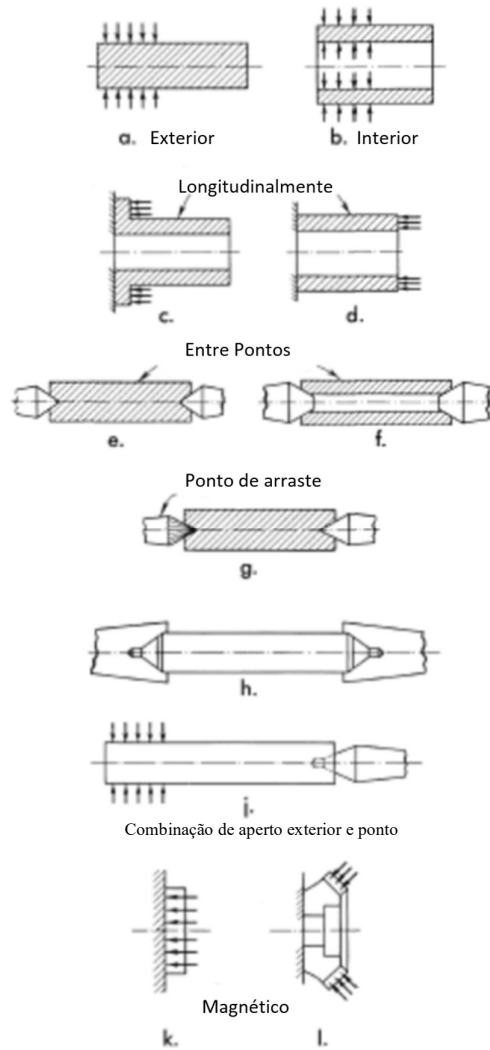


Figura 3-2 Denominações comuns para apertos giratórios em função da localização da zona de aperto da peça [7]

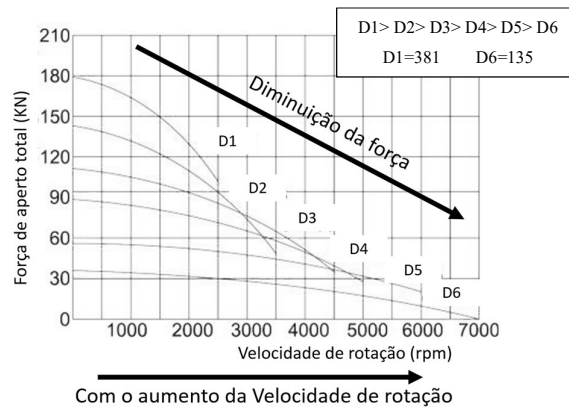


Figura 3-3 Diagrama ilustrativo e exemplificativo da perda de capacidade de aperto [11]

Existem cinco tipos de sistemas de aperto para trabalho em torno: bucha, com ponto, pinça, mandril, e magnético (Figura 3-4).

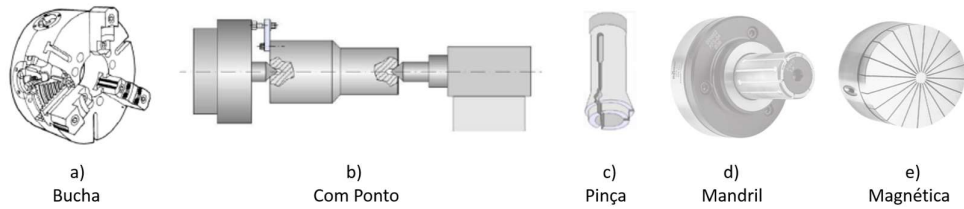
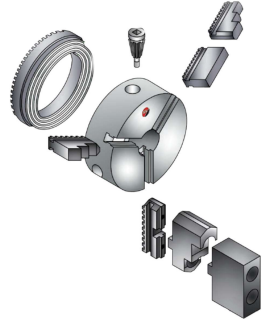
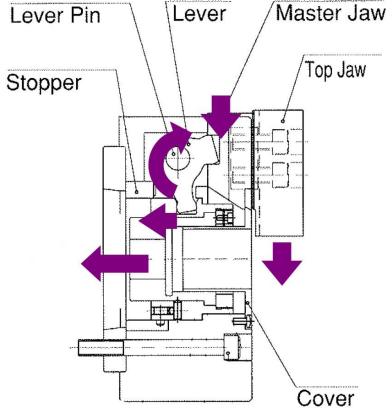
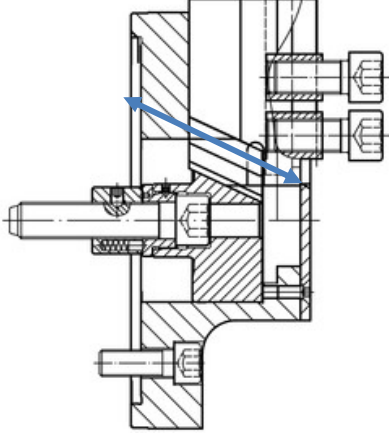


Figura 3-4 Tipos de fixação em torno [12], [13]

Quanto ao tipo de atuação, poderão ser manuais ou automáticos. O manual é atuado por um operador através de uma chave de buchas; estas buchas tendem a ser compostas por elementos mais simples. Os automáticos que podem ser pneumático, hidráulico e elétrico são agrupados numa família denominada buchas automáticas.



Quanto ao meio de atuação, poderão ser por espiral, por alavanca e por cunha (Tabela 2). Quanto aos tipos de montagem de buchas em tornos, regem-se segundo normas, sendo estas descritas na Tabela 3, bem como a sua designação comercial. Uma tabela resumo dos restantes elementos e informações encontra-se no Anexo 1 Tipos de Montagem de buchas em torno (Types of Spindle Nose)

Tabela 2- Meio de atuação

Meio	Figura representativa
Espiral (<i>Scroll</i>)	
<p>Grampos atuados através da rotação da espiral (<i>scroll</i>).</p>	
Alavanca (<i>Lever</i>)	
<p>Sistema de alavanca que transforma a força de atuação³ em força de aperto [14].</p>	
Cunha (<i>Wedge</i>)	
<p>Modo de atuação através de cunha entre o grampo e o pistão. A força de aperto e o movimento do grampo de aperto dependem do ângulo de inclinação da cunha.</p>	

³ Força de atuação (*actuating force*) - Força que atua na bucha, aplicada por uma fonte exterior de energia, que faz atuar o mecanismo da bucha [23].

Tabela 3- Normas sobre tipos de montagem de buchas em torno [15], [16], [17]

Nome:	Norma:	Informação complementar	Representação
Plate back mount	DIN 6350 (mounting from front)		
Montagem tipo A	ISO 702-1 (DIN 55026)	(Conical Connection)	Figura 3-5
Montagem tipo C	ISO 702-3 (DIN 55027)	(Bayonet type) Suporta pinos DIN 55027 = DIN 55021 DIN 55022	Figura 3-6
Montagem tipo D	ISO 702-2 (DIN 55029)	Contem pinos em forma de D (DIN 55029) que suportam a bucha. (Camlock type)	Figura 3-7
Montagem tipo L	LONG TAPER (L0, L00, L1, L2)	Usado amplamente em tornos industriais entre 1930 e 1960.	Figura 3-8
Montagem roscada	DIN 800	Fixação roscada à bucha.	

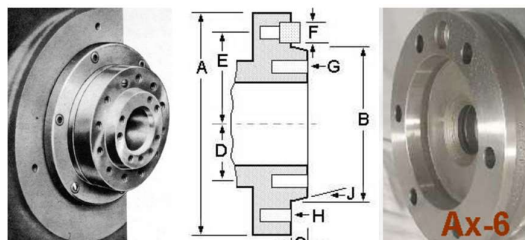


Figura 3-5 Montagem tipo A



Figura 3-6 Montagem tipo C

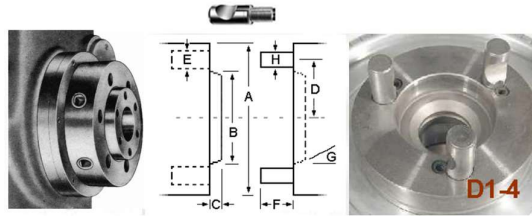


Figura 3-7 Montagem tipo D

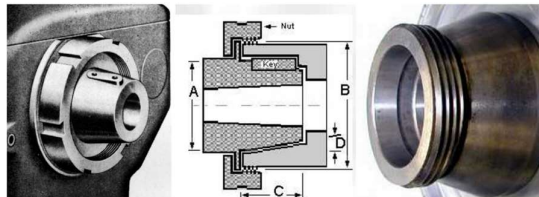


Figura 3-8 Montagem tipo L

Quanto às propriedades, poderão ser centrantes ou compensantes:

- As centrantes são usadas, em especial, quando ainda não existe uma superfície de referência na peça. Deste modo, é criada uma referência em relação ao centro. Nesta propriedade, os grampos são atuados em simultâneo, de modo a garantir a centragem.
- As compensantes são usadas quando já existe uma superfície de referência na peça. Os grampos são atuados separadamente, de modo a estabelecerem contacto com a peça, para que não seja forçada a centragem, mas que seja garantida a referência pré-estabelecida da peça. Esta propriedade previne deformações e garante uma maior precisão para peças já maquinadas.

3.1.1.2 Mandris de torneamento

Nesta dissertação é usado o nome mandril como um elemento específico para aperto interior de uma peça. Podem ser divididos entre planos (Figura 3-9) e de expansão (Figura 3-10). Os mandris planos são eixos cónicos sólidos, curtos, geralmente com uma inclinação de 0.5mm/m, em que a peça em trabalho é forçada de encontro com o mandril. São usualmente utilizados para produções reduzidas, uma vez que existe desgaste no processo de troca de peça.

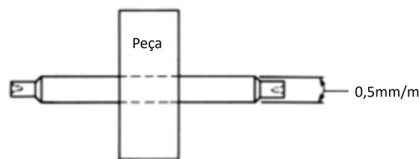


Figura 3-9 Representação de mandril plano

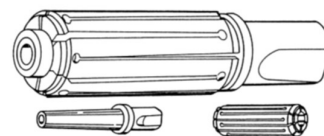


Figura 3-10 Mandril expansível

Os mandris expansíveis são geralmente usados em superfícies acabadas. Este tipo de mandril proporciona uma melhor concentricidade de topo a topo da peça do que o mandril plano.

Com base nos conceitos de aperto apresentados na Figura 3-11, pode ser criada uma vasta gama de mandris para as mais variadas aplicações.

A precisão destes modos de aperto pode ser abaixo de 0.01mm. Estes sistemas têm como vantagem sustentar a peça em todo o seu perímetro, o que elimina o risco de deformações triangulares, quadrangulares ou de qualquer outro formato, que podem ser causadas por outro tipo de elemento de aperto comum.

Existem diferentes tipos de mandris, nomeadamente:

- Mandril Expansível Comum;
- Mandril Expansível *Segment Sleeve*;
- *Roller-Actuated Expanding Sleeve Mandrel*;
- *Collet-type Mandrel*;
- *Precision Expanding Mandrel*;
- Mandril para Peças Roscadas (*Mandrel for Treaded Parts*);
- *Ball Expanding Mandrel*;
- Mandril Expansível para Engrenagens Interiores (*Expanding Mandrel for Internal Gears*);
- Mandril para Anéis de Diâmetro Elevado (*Mandrel for Large-Diameter Rings*);
- *Differential Expanding Mandrel*.

As características destes tipos de mandris estão apresentadas na Tabela 4.

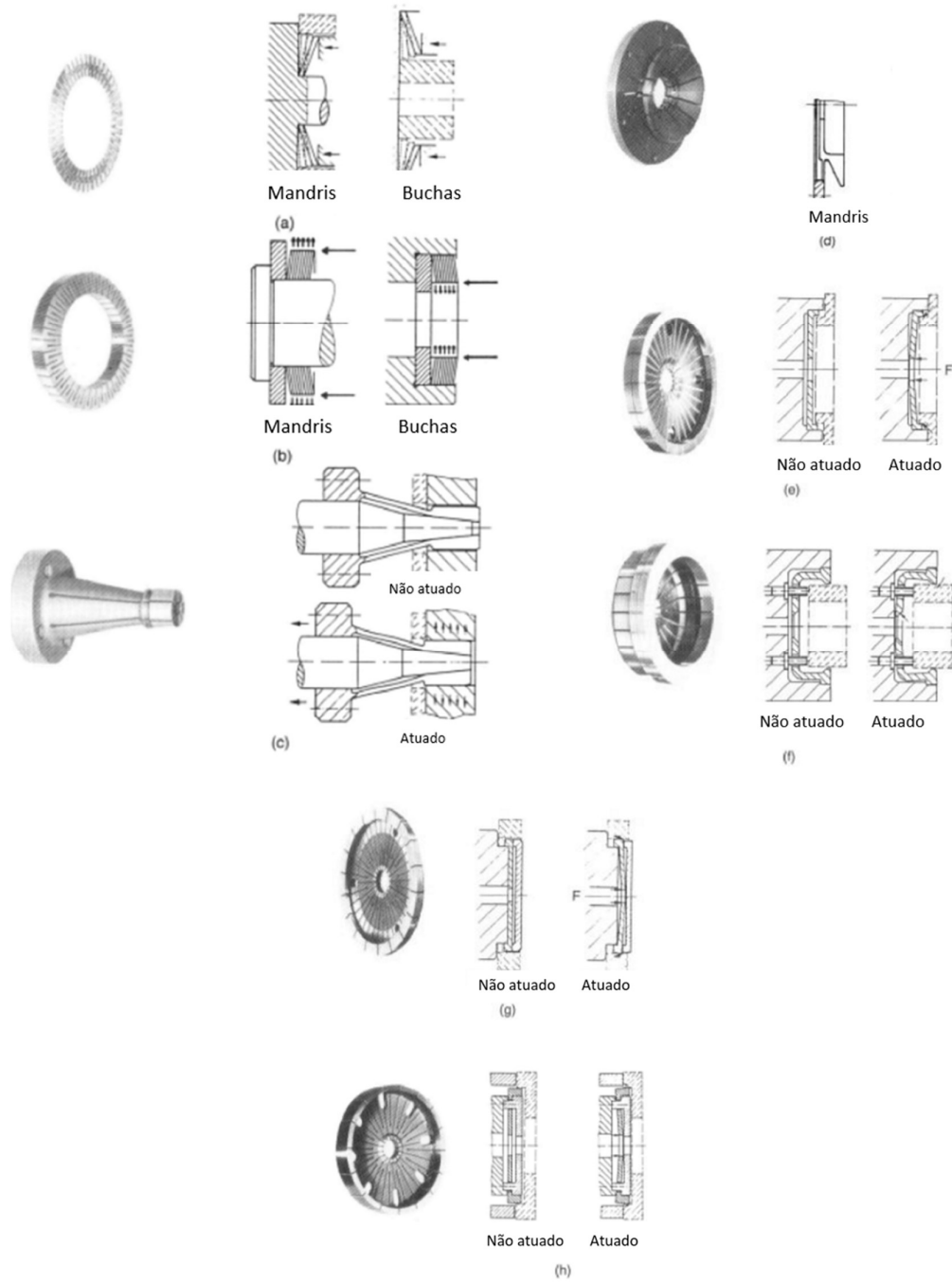


Figura 3-11 Princípios de funcionamento de alguns tipos de aperto em mandril e *collet* [8]

Tabela 4- Diferentes tipos de Mandris

Mandril Expansível Comum

Mandril com vasta gama de aplicações. Existem mandris sem movimento axial (Figura 3-12- a)) ou mandris com efeito *pull down* (Figura 3-12- b)).

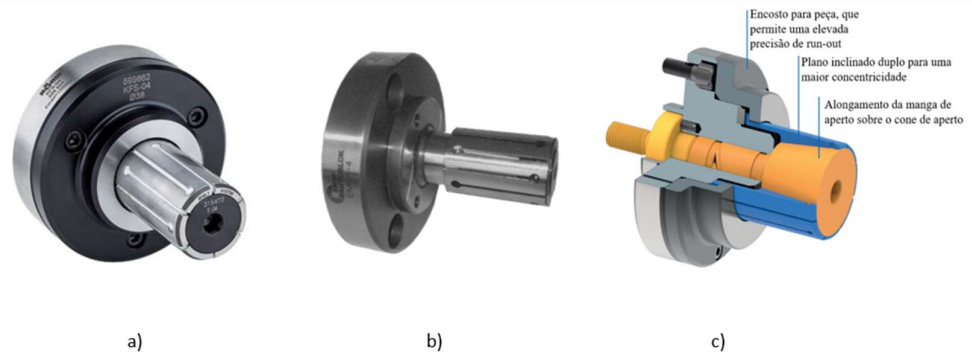


Figura 3-12 Mandril expansível comum [13], [18]

Mandril Expansível Segment Sleeve

Semelhante ao anterior mas com melhor competência para receber grandes lotes de produção, uma vez que as pinças têm uma maior resistência ao desgaste, conseguida com pinças temperadas e vulcanizadas. Como também é composto por borracha, consegue um maior amortecimento de vibrações (Figura 3-13).

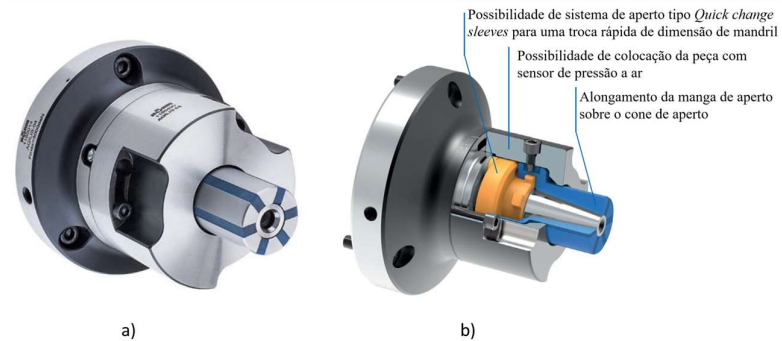


Figura 3-13 Mandril expansível com segment sleeve [13]

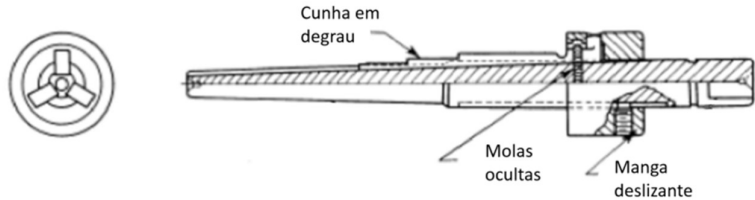
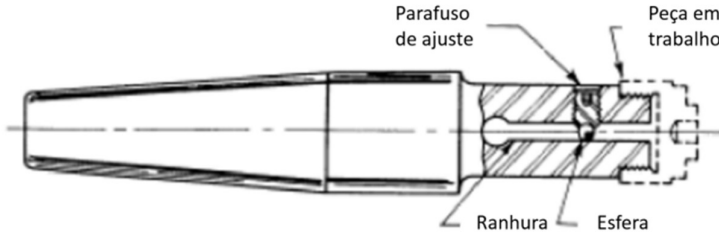
(Continua)

Tabela 4- Diferentes tipos de Mandris (continuação)

<i>Roller-Actuated Expanding Sleeve Mandrel</i>	
<p>Este mandril expande rodando o cone atuante no sentido horário. O movimento em espiral dos roletes, força o avanço do cone apertando a peça (Figura 3-14).</p>	<p style="text-align: center;">Figura 3-14 Mandril de manga extensível por rolos [8]</p>
<i>Collet-type Mandrel</i>	
<p>É um Collet invertido que agarra a peça pela sua superfície interior. Tem todas as vantagens de um Collet comum. Na Figura 3-15, a vista a) representa o mandril totalmente fechado; na vista b) o mandril está em expansão, com a maior área de contacto com a peça; por fim, a vista c) mostra o mandril expandido no seu máximo diâmetro.</p>	<p style="text-align: center;">Figura 3-15 Mandril tipo Collet [8]</p>

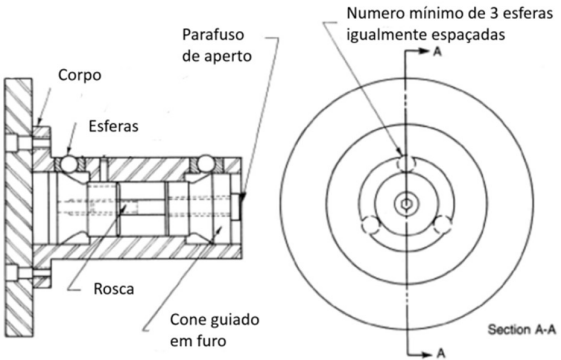
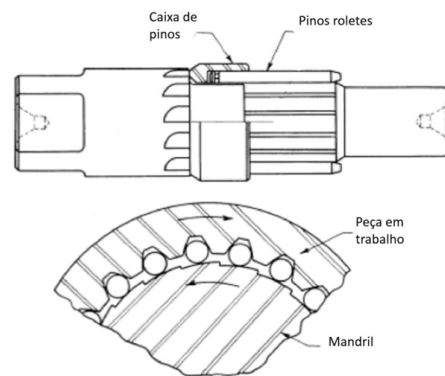
(Continua)

Tabela 4- Diferentes tipos de Mandris (continuação)

<i>Precision Expanding Mandrel</i>	
<p>Por vezes, maquinar peças já roscadas pode constituir um problema, para não danificar os fios de rosca da peça. Deste modo, este mandril é composto por um material de baixa dureza e um parafuso de ajuste com uma esfera na extremidade, de maneira a agarrar a peça sem danificar a zona roscada (Figura 3-16).</p>	 <p style="text-align: center;">Figura 3-16 Mandril de grampos móveis[8]</p>
Mandril para Peças Roscadas (<i>Mandrel for Treaded Parts</i>)	
<p>Por vezes, maquinar peças já roscadas pode constituir um problema, para não danificar os fios de rosca da peça. Deste modo, este mandril é composto por um material de baixa dureza e um parafuso de ajuste com uma esfera na extremidade, de maneira a agarrar a peça sem danificar a zona roscada (Figura 3-17).</p>	 <p style="text-align: center;">Figura 3-17 Mandril para peças roscadas [8]</p>

(Continua)

Tabela 4- Diferentes tipos de Mandris (continuação)

Ball Expanding Mandrel	
<p>Este tipo de mandril garante precisão de aperto, independentemente do tipo de furo da peça, podendo ser escalonado dentro de pequenas variações de diâmetro. Funciona através de um fuso que ao ser atuado força as esferas a subir a pista cônica de modo a estas exercerem força de aperto sobre a peça (Figura 3-18).</p>	 <p style="text-align: center;">Figura 3-18 Mandril de compensação duplo para furos com variação de diâmetro [8]</p>
Mandril Expansível para Engrenagens Internas (Expanding Mandrel for Internal Gears)	
<p>O mandril mostrado na Figura 3-19 consegue localizar peças estriadas ou engrenagens internas. Os pinos cilíndricos são responsáveis pelo suporte da peça. Pode ser usado para torneamento entre pontos ou bucha de fixação.</p>	 <p style="text-align: center;">Figura 3-19 Mandril de engrenagens internas [8]</p>

(Continua)

Tabela 4- Diferentes tipos de Mandris (continuação)

Mandril para Anéis de Diâmetro Elevado (*Mandrel for Large-Diameter Rings*)

Torneamento entre pontos de precisão ou operações de esmerilar na face exterior do anel (OD) podem ser realizadas por este tipo de mandril (Figura 3-20).

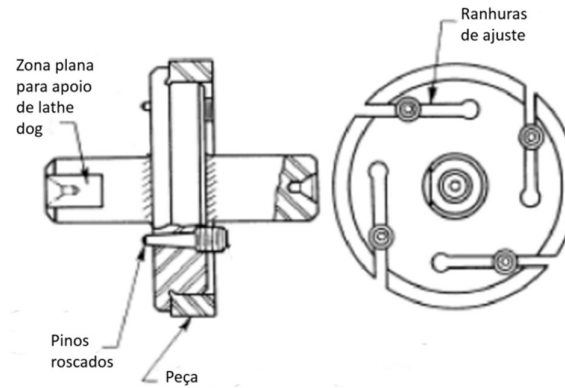


Figura 3-20 Mandril para anéis de grande diâmetro [8]

Differential Expanding Mandrel

Quando um fundido tem furos escalonados e o processo de torneamento é exterior, por vezes é difícil de manter a espessura uniforme no fundido. Nesse caso, é usual este tipo de mandril em que dois conjuntos de elementos de localização são atuados independentemente. Nas pontas do mandril existem furos centrados para o mandril ser montado entre pontos. Com a rotação da operação de torneamento existe a tendência de apertar os cones e assim forçar os discos a susterm melhor a peça (Figura 3-21)

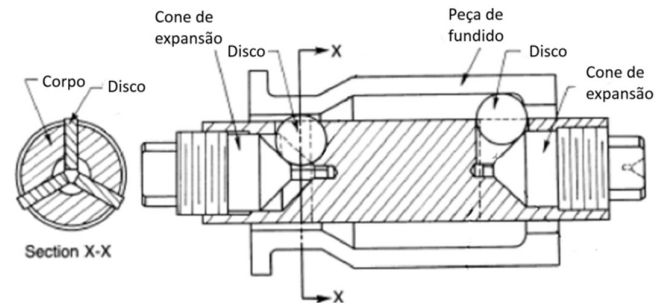


Figura 3-21 Mandril para furos escalonados [8]

3.1.1.3 Buchas de torneamento

A Figura 3-22 é uma representação esquemática sobre as características que podem ser pontos-chave na escolha de um sistema de fixação em bucha.

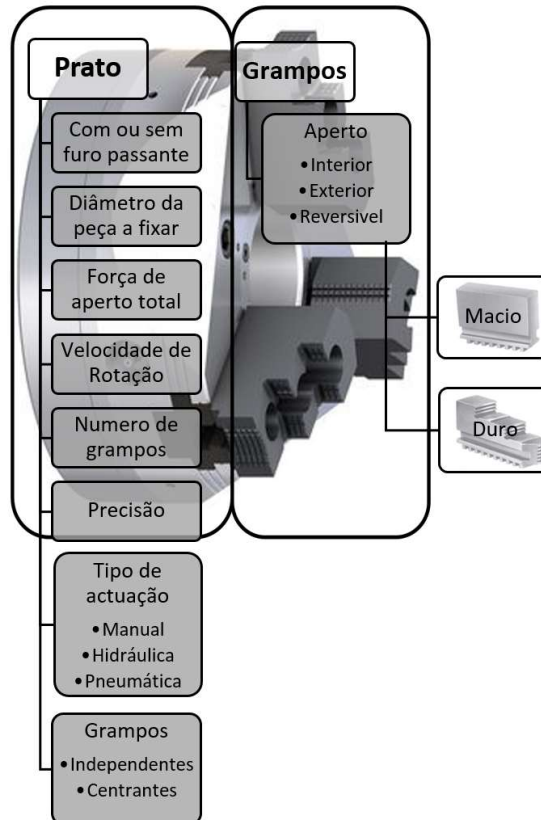


Figura 3-22 Pontos chave para uma escolha adequada de bucha

Na Tabela 5 são mostrados os tipos de buchas de torneamento, nomeadamente:

- Bucha de Diafragma;
- Bucha Standard (*Standard Hydraulic/Manual Chuck*);
- Bucha de Grampos Independentes (*Independent chuck*);
- *Six-jaw Lever Compensating Chuck*;
- *Console Chuck*;
- *Pull Chuck (Pin Arbor Chuck)*;
- *Ball Lock Chuck*;
- *Face Clamp Chuck*;
- *Finger Chuck*;
- *Twist Finger Chuck*;
- *Face Cam Chuck*;
- Bucha Magnética;
- Buchas Especiais.

Tabela 5- Tipos de buchas para torno

Bucha de Diafragma

Este método de fixação é usado, quer em centros de torneamento CNC, quer em máquinas de retificação. Este tipo de suporte é ideal para peças em fase de acabamento, bem como inspeção, controlo dimensional, maquinação, robôs, processos de EDM (*Electrical discharge machining*) (Figura 3-23 e Figura 3-24) [19].

Vantagens

As vantagens deste sistema relativamente a um sistema convencional de três grampos *ou pull-down chuck* num torno são principalmente duas, a precisão e a consistência da força de aperto da peça. Uma vez que não existem peças deslizantes num sistema de bucha diafragma, a precisão está diretamente relacionada com a deformação elástica do diafragma. Esta fixação depende unicamente do diafragma para realizar a abertura e fecho das maxilas, enquanto que, num sistema convencional, existem folgas e, consequentemente, tolerâncias associadas às peças móveis relativamente ao corpo do cabeçote [20].

A ausência de peças móveis significa que as buchas diafragma não precisam de lubrificação. Este é um problema dos sistemas Standard, uma vez que resulta numa perda gradual de força de aperto. Essa perda de força cria condições dinamicamente variáveis [20].

Durabilidade

O aperto da peça é baseado na deformação elástica do diafragma. Não existem peças de correr na atuação deste sistema, portanto o desgaste é mínimo. Isto também elimina a necessidade de manutenção [20]. O diafragma tem uma vida útil entre as 800.000 e as 1.000.000 atuações. Outro aspeto a ter em conta é o facto de a maior pressão ser exercida na abertura do diafragma e não no fecho. A força de fecho está limitada pelo efeito de mola do material (elasticidade), o que previne deformações da peça a torner. A força de aperto pode ser aumentada e regulada aplicando no cilindro hidráulico quer uma força de tração, quer compressão [20].

Precisão

Dependendo do modelo e da marca do equipamento, podemos obter uma precisão axial de 0.254µm TIR⁴ e precisão radial de 0.508µm TIR. Preço competitivo para uma solução completa de sistema de fixação [20].



Figura 3-23 Bucha de diafragma (*Diaphragm Chuck*) [21]

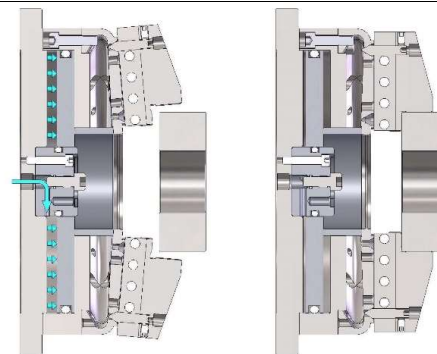

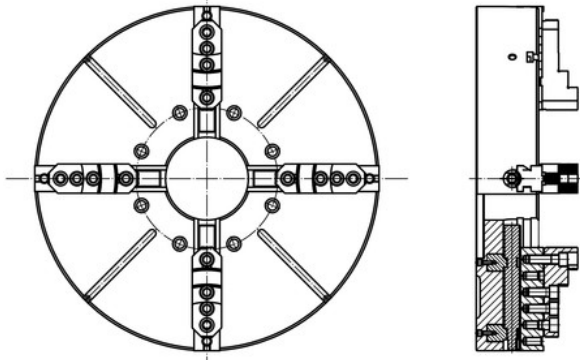


Figura 3-24 Representação do método de funcionamento de buchas diafragma [19]

(Continua)

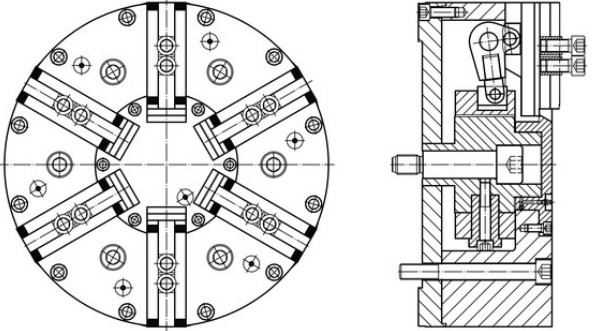
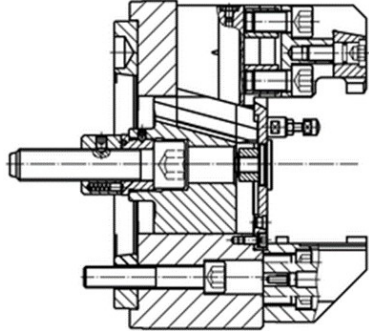
⁴ *Total indicator reading*, também conhecido pelo nome de *full indicator movement (FIM)*, é a diferença entre a medida máxima e mínima lida num comparador, numa superfície

Tabela 5- Tipos de buchas para torno (continuação)

Bucha Standard (<i>Standard Hydraulic/Manual Chuck</i>)	
<p>Tipicamente são encontradas estas buchas de 2, 3, 4 e 6 grampos (Figura 3-25). Podem ser centrante, com grampos independentes ou a combinação das duas. Podem ter furo passante no centro ou não (Tipos de centro).</p>	 <p>Figura 3-25 Bucha de 3 grampos (<i>3 Jaws Chuck</i>) com grampos maquináveis [22]</p>
Bucha de Grampos Independentes (<i>Independent chuck</i>)	
<p>Bucha atuada manualmente com grampos independentes, atuados por fusos roscados distintos. Tipicamente tem quatro grampos (Figura 3-26).</p>	 <p>Figura 3-26 Bucha de 4 grampos independentes [23]</p>


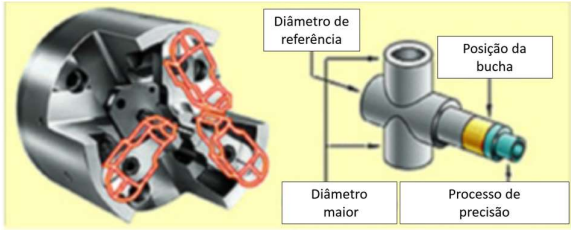

(Continua)

Tabela 5- Tipos de buchas para torno (continuação)

<i>Six-jaw Lever Compensating Chuck</i>	
<p>Bucha de seis grampos com compensação de força entre cada par de grampos (Figura 3-27).</p>	 <p>Figura 3-27 Bucha de 6 grampos compensantes [23]</p>
<i>Console Chuck</i>	
<p>Bucha com um grampo fixo (consola) e um móvel (Figura 3-28).</p>	 <p>Figura 3-28 Bucha em consola [23]</p>

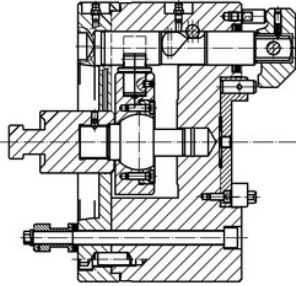
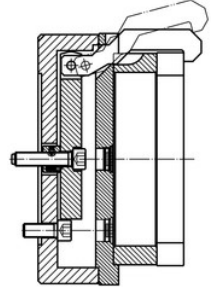
(Continua)

Tabela 5- Tipos de buchas para torno (continuação)

Pull Chuck (<i>Pin Arbor Chuck</i>)	
<p>Este tipo de bucha tem a vantagem de puxar a peça para junto da superfície de referência (efeito <i>pull-down</i>) mantendo a peça livre de oscilações, assegurando, deste modo, uma alta estabilidade de aperto para um resultado preciso de acabamento (Figura 3-29).</p> <p>O suporte rígido da parte de trás da estrutura possibilita o torneamento de alta velocidade e de alta precisão, facilitando também o processo de alimentação automático.</p> <p>Existe alguma variedade deste tipo de sistemas. Destes, é importante referir o sistema <i>Swing Chuck</i>, que combina o sistema normal de <i>pull-back</i> com a rotação dos grampos, de modo a permitir a montagem de peças de geometrias diferentes (Figura 3-30).</p>	
	
Ball Lock Chuck	
<p>Foram criadas para combater a dificuldade de conseguir um bom aperto. Este tipo de buchas tem a capacidade de aperto de uma peça com um ângulo da superfície de até 20°. Permitem o aperto de peças, quer pelo diâmetro interior (ID), quer pelo diâmetro exterior (OD).</p> <p>Aconselhado para materiais fundidos ou forjados, com um ângulo de inclinação, e para peças com saliências.</p> <p>Os grampos podem ser ajustáveis (<i>floating jaws</i>) para a esquerda ou para a direita de modo a se adaptem à superfície da peça a maquinar, em 5° para cada lado (Figura 3-31).</p>	

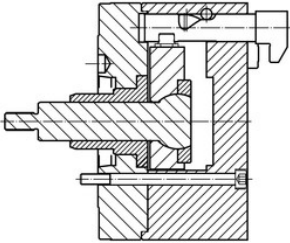
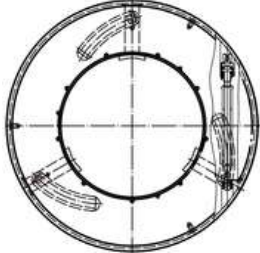
(Continua)

Tabela 5- Tipos de buchas para torno (continuação)

<i>Face Clamp Chuck</i>	
<p>Buchas para peças de aperto maioritariamente na direção axial (Figura 3-32).</p>	 <p>Figura 3-32 <i>Face clamp chuck</i> [23]</p>
<i>Finger Chuck</i>	
<p>Bucha com grampos tipo “dedo” para aperto da peça na direção axial (Figura 3-33).</p>	 <p>Figura 3-33 <i>Finger Chuck</i> [23]</p>

(Continua)

Tabela 5- Tipos de buchas para torno (continuação)

<i>Twist Finger Chuck</i>	
<p>Bucha com aperto através de uma haste cilíndrica, que roda em torno do seu próprio eixo e aplica força de aperto no sentido axial.</p> <p>Nota: O centrar e/ou alinhar da peça é feito por um elemento de localização à parte (Figura 3-34).</p>	 <p>Figura 3-34 Bucha <i>Twist finger</i> [23]</p>
<i>Face Cam Chuck</i>	
<p>Bucha operada manualmente com uma came interior que gera o aperto do grampo através da rotação da came em torno do eixo da bucha (Figura 3-35).</p>	 <p>Figura 3-35 <i>Face cam chuck</i> [23]</p>
Bucha Magnética	
<p>É uma solução que funciona somente em peças com condutividade magnética.</p> <p>Este tipo de fixação é particularmente utilizado para peças facilmente deformáveis, que solicitem processos de torneamento em três lados, especialmente quando são usadas buchas de pólos radiais para anéis e coroas circulares.</p> <p>Existem, no entanto, soluções híbridas no mercado (Figura 3-36) que combinam as funcionalidades de uma bucha convencional com as vantagens de uma bucha magnética. As buchas magnéticas são muitas vezes usadas com o auxílio de acessórios, tais como, contrapontos que ajudam a centrar a peça, antes do processo de torneamento.</p>	

(Continua)

Tabela 5- Tipos de buchas para torno (continuação)

Sistema de aperto magnético *electro-perm* (Figura 3-37) são sistemas de ímã permanente que, unicamente quando acionados, mudam as linhas de fluxo e, deste modo, soltam ou agarram a peça [24]



Figura 3-36 Bucha magnética híbrida

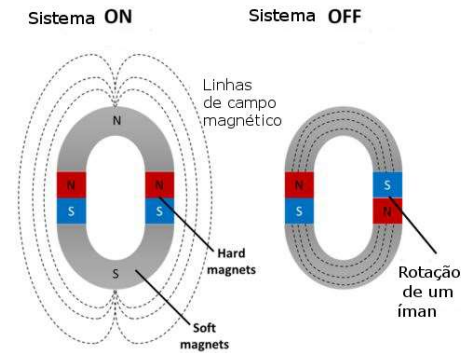


Figura 3-37 Representação esquemática das linhas de campo magnético em *on* e *off* [25]

Buchas Especiais

Bucha desenhada para aplicações especiais ou para peças especiais.

É comum serem combinados diversos princípios de fixação e aperto, de modo a conseguir o efeito pretendido. São geralmente buchas mais dispendiosas e pouco versáteis (Figura 3-38).



Figura 3-38 Exemplo de bucha especial [26]

3.1.1.4 Bucha *Collet*

Nesta dissertação é referido como *Collet* um elemento específico para o aperto exterior de uma peça.

O uso deste dispositivo de aperto é uma alternativa que, como as buchas convencionais, utiliza força mecânica para segurar a peça a ser transformada.

Como limitação, este sistema não tem capacidade para uma larga amplitude de dimensões de peças (comparando com buchas de três grampos convencionais), mas oferece vantagens relacionadas com a velocidade de rotação, precisão e produtividade.

Na Figura 3-39 são representadas diferentes formas de buchas *Collet*.



Figura 3-39 Buchas *Collet* [22]

3.1.1.5 Fatores a considerar na escolha entre bucha e *collet*

Na escolha de um destes dois componentes de aperto (convencional e *collet*) devem ser tidos em conta os seguintes fatores:

- Capacidade de carga do eixo de rotação do torno;
- Velocidade de rotação;
- Tipo de operação;
- Dimensões de peça;
- Quantidade a produzir;
- Gama de dimensões das peças;
- Tipo de material.

Quanto à capacidade de carga do eixo de rotação do torno. O torno tem uma carga máxima permitida com base na capacidade dos rolamentos. Se for verificado que os rolamentos podem estar a ser submetidos a cargas elevadas, deve optar-se por uma bucha *Collet* em vez das buchas convencionais. As buchas *Collet* tendem a apresentar uma menor massa que as buchas convencionais.

Quando a velocidade de rotação é elevada, a *collet* tende a ser a escolha mais indicada por dois motivos: o primeiro relacionado com a massa da bucha - dada a diferença de massas anteriormente referida a inércia será maior na bucha convencional, o que afetará a aceleração para a velocidade pretendida.

O segundo motivo é a força centrífuga que em altas velocidades se torna uma preocupação crescente, uma vez que aumenta com o quadrado da velocidade da rotação, o que resulta numa redução da força de aperto dos grampos. Nas buchas *Collet* a força centrífuga não tem um efeito relevante. Consequentemente a força é mais constante numa *Collet*.

Quanto ao tipo de operação esta bucha aplica a força de aperto em redor de toda a peça. Como consequência consegue-se uma concentricidade elevada. Este resultado pode ser relevante para uma segunda operação que dependa de uma primeira. Uma bucha de grampos macios garante tipicamente uma repetibilidade de 0.015 a 0.030 mm (0.0006 a 0.0012 in) TIR. Por outro lado, uma bucha *Collet* permite, tipicamente, 0.013 mm (0.0005 in) TIR ou superior uma vez que os grampos macios podem ser maquinado na *collet*/bucha que melhora a precisão da bucha.

Quanto às dimensões da peça as buchas *Collet* são mais adequadas para peças de dimensões reduzidas. A bucha *Collet* pode impor uma limitação no comprimento da peça em trabalho, uma vez que esta é mais comprida que uma bucha convencional. Deste modo, o alcance axial (eixo-z) do torno é forçosamente reduzido.

Relativamente à quantidade a produzir, o uso deste tipo de fixação é vantajoso para quando existem pequenos e grandes lotes. Esta vantagem advém do tempo de carga/descarga que, em comparação com uma bucha convencional, é bastante mais reduzido, podendo passar de 15 a 20 minutos, em bucha padrão, ou 1 minuto bucha de troca rápida de grampos, para 15 a 20 segundos numa bucha de troca rápida. É ainda de frisar que o tempo de atuação é mais reduzido, o que se traduz numa redução do tempo de ciclo.

Quanto à gama de dimensões das peças a produzir, essencialmente, a bucha *Collet* troca flexibilidade por velocidade. Isto significa que, se as peças a torneiar tem diâmetros de secção semelhantes, pode ser mais proveitosa a utilização deste método de aperto. De outro modo, será melhor considerar outro método de aperto.

Quando as peças em bruto têm superfícies com textura muito irregular, os *collets* não são adequados porque podem não ter alcance de abertura compatível com as variações da peça. Porém, existem buchas adequadas para perfis não circunferenciais, que são feitas especificamente para determinados perfis [27].

Em última análise a *collet* é preferencialmente utilizada para maquinação de alta velocidade reduzindo os problemas de força centrífuga, garantindo uma melhor quadratura e paralelismo [21], [27].

Na Tabela 6 são listadas algumas vantagens e desvantagens do uso de *Collets*.

Tabela 6- *Collet Chucks* vantagens e desvantagens [27]

Vantagens buchas *Collet*

Desvantagens buchas *Collet*

Massa reduzida	Gama limitada de dimensões para peças
Rápida aceleração	Grande dimensão axial
Pouca influência da força centrífuga	Mais adequado para peças pequenas
Concentricidade elevada	Adequado para peças com diâmetros semelhantes
Rápida mudança de bucha (num processo de conversão de uma linha ou máquina da produção de um produto para outro)	

3.2 Síntese de sistemas de aperto em torno

A Tabela 7 agrupa a informação relativa aos sistemas de aperto.

Tabela 7- Categorização por tipo e género de sistemas de aperto rotativos.

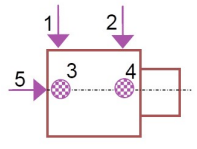
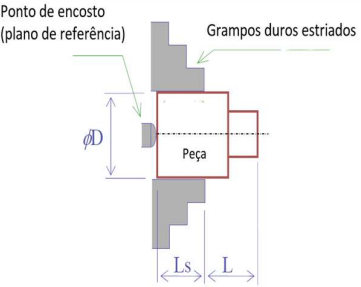
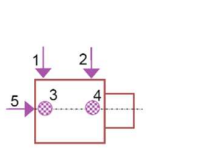
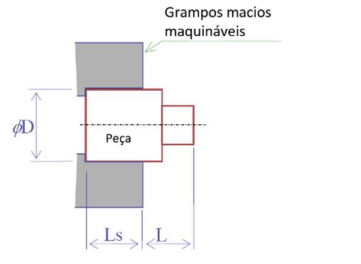
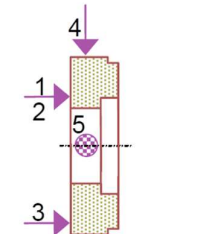
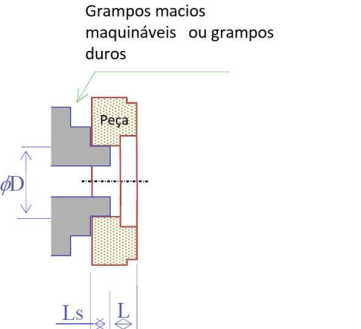
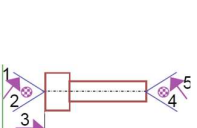
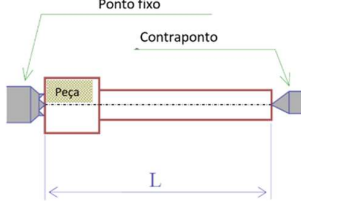
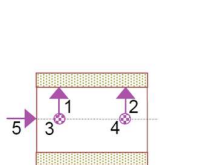
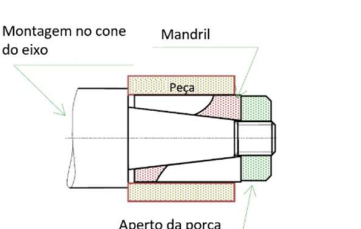
Categoria	Género	Consulta
Tipo de atuação	Manual Pneumático Hidráulico Elétrico	Pag:18
Meio de atuação	Scroll Lever Wedge Cam Diafragma Collet	Tabela 2 Pag:19
Zona de aperto	Interior (ID) Exterior (OD) Longitudinal Magnético	Figura 3-2
Tipos de fixação	Bucha Entre pontos Collet Mandrill Magnético	Figura 3-4
Tipos de centro	Through-hole chuck Closed-chuck	
Tipos de Montagem de buchas em torno	Plate back Type A, C, D, L Threaded	Tabela 3 Pag:20
Propriedades	Centrante Compensante Independente	Pag:21
Superfície de aperto	Suave Intermedia Em bruto fundido	
Acessórios e Componentes	Compensação da força centrifuga Indexing chuck	Acessórios de torneamento Pag:43

Na Tabela 8 e Tabela 9 é feita uma comparação entre diferentes tipos de elementos de fixação.

Tabela 8- Comparação sintética entre sistemas de fixação para peças em torno [28]

Método	Precisão	Repetibilidade	Facilidade de utilização	Síntese de características
<i>Collets</i>	Elevada	Elevada	Elevada	Rápida, alta precisão, alta repetibilidade, reduzida probabilidade de marcar a peça, elevada área de aperto. Custo elevado, reduzida flexibilidade de diâmetros. Comprimentos limitados.
Bucha 3-Grampos macios	Elevada	Elevada	Elevada	Para peças de dimensões elevadas, buchas de 3 grampos macios são a comuns em CNC
Bucha 3-Grampos rígidos centrante	Baixa	Baixa	Elevada	Comuns, baixo custo, simples. Precisão reduzida, baixa repetibilidade se for preciso mais de um aperto.
Bucha 4-grampos	Elevada	Elevada	Média	Elevado consumo de tempo para o ajuste individual dos grampos, mas consegue garantir boa precisão. Consegue compensar e fixar peças como cames e excêntricos. Adequado para peças com formas irregulares.
Bucha 6-grampos	Média	Média	Elevada	Adequado para paredes de espessura reduzida, superfícies acabadas. Adequado para peças de secção hexagonal.
Torneamento entre pontos	Elevada	Elevada	Baixa	Elevada precisão, permite que as peças sejam retiradas e colocadas novamente com muito alta repetibilidade.
Mandril	Elevada	Elevada	Elevada	O funcionamento é semelhante a uma <i>collet</i> mas atua do interior para o exterior

Tabela 9- Comparação entre tipos de montagem e tolerância [29]

Tipo de montagem	Modelo de ligação	Esquema de Montagem	Acessórios usados	Erro de Repetição (mm)
Bucha	 <p>L_s não deve ser inferior a $0.7 D$. $L_s > D$ desejável</p>	 <p>Ponto de encosto (plano de referência) Grampos duros estriados Peça ϕD L_s L</p>	<p>Bucha de 3 grampos duros centrante + Ponto fixo</p> <p>L deve ser limitado em função das forças de corte e do diâmetro da peça</p>	0.1 max.
Bucha	 <p>L_s não deve ser inferior a $0.7 D$. $L_s > D$ desejável</p>	 <p>Grampos macios maquináveis Peça ϕD L_s L</p>	<p>Bucha de 3 grampos macios centrante</p> <p>L deve ser limitado em função das forças de corte e do diâmetro da peça</p>	0.05 max.
Bucha com aperto pelo interior	 <p>L_s não deve ser maior que $0.5D$ $L_s < 0.5D$</p>	 <p>Grampos macios maquináveis ou grampos duros Peça ϕD L_s L</p>	<p>Bucha de 3 grampos macios ou duros centrante</p> <p>L deve ser limitado em função das forças de corte e do diâmetro da peça</p>	0.1 max. (m. Duro) e 0.05 max. (m. Macio)
Montagem entre pontos		 <p>Ponto fixo Contraponto Peça L</p>	<p>Ponto fixo de arraste + Contraponto rotativo</p> <p>L deve ser limitado em função das forças de corte e do diâmetro da peça</p>	0.01 max.
Mandril expansível		 <p>Montagem no cone do eixo Mandril Peça Aperto da porca</p>	Mandril expansível	0.01 max.

Na Figura 3-40 são representadas diferentes normas de forma gráfica, relativamente a tolerâncias de movimento total radial. Esta informação é relevante para quando a pesquisa de uma bucha se prende fortemente com as tolerâncias de projeto da peça. Neste gráfico é possível verificar que existem diferentes normas com tolerâncias diferentes (para o mesmo tipo de

bucha), mas em qualquer uma das normas o aumento da dimensão da bucha tem como consequência uma perda de tolerância de movimento total radial por parte da bucha.

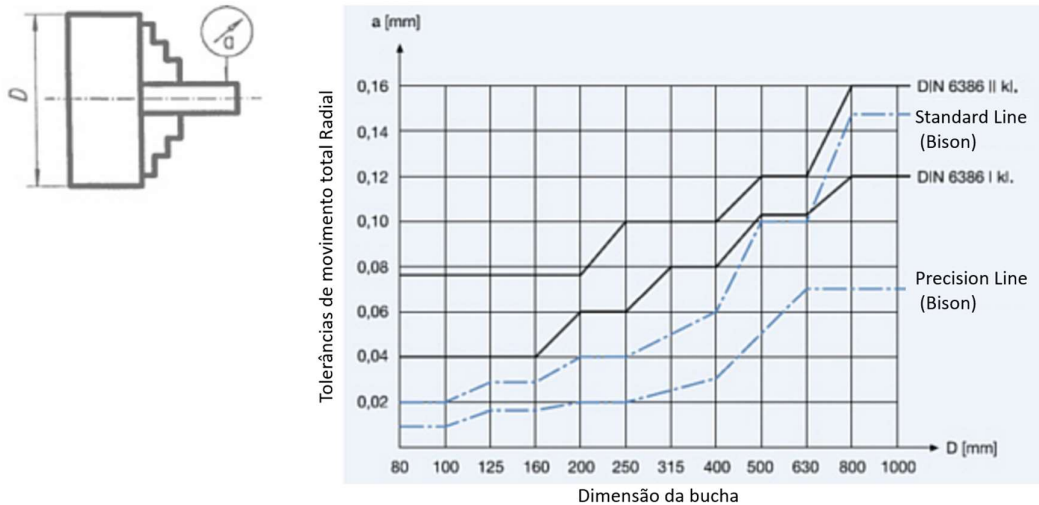


Figura 3-40 Representação gráfica de tolerâncias em buchas centrantes em relação ao seu diâmetro [30]

3.3 Acessórios de torneamento

3.3.1 Pontos e contrapontos

Os pontos e contrapontos são utilizados para apoiar as extremidades da peça a ser torneada. Têm como principal vantagem garantir um eixo de referência, que permita um rápido tempo de *set-up* da peça com uma elevada precisão.

Os pontos ou contrapontos têm uma haste do cone do tipo “*Morse Taper*” (ISO 296).

Na Figura 3-41 são representados os seguintes pontos:

- Ponto fixo- Suporta a peça por meio dos furos; é usualmente colocado na bucha rotativa;
- Ponto rotativo- É usado no cabeçote móvel do torno; permite que a ponta gire livremente, uma vez que é composto por três rolamentos que suportam os esforços radiais axiais e longitudinais a que o contraponto é sujeito;
- Ponto rebaixado- Facilita o completo facejamento da extremidade da peça. Deve ser utilizado apenas para este fim;
- Ponto de arraste (*center drive chuck*)- Este ponto monta em duas fases sendo a primeira o centrar e a segunda o aperto da peça através dos pinos circundantes, aumentando a força de arrasto radial.

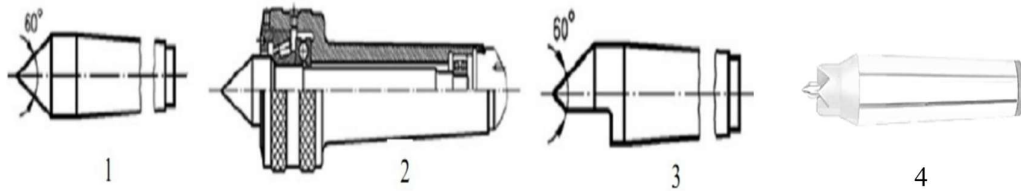


Figura 3-41 1-Ponto fixo 2-Ponto rotativo 3-Ponto rebaixado 4-Ponto de arraste

3.3.2 Placa de arrasto e *Lathe Dogs*

Este tipo de acessórios é usado no torneamento entre pontos e tem como função transmitir o movimento de rotação à peça a ser torneada (Figura 3-42).



Figura 3-42 Diferentes tipos de *Lathe dogs* [8]

A escolha do conjunto deve ser feita tomando em atenção a folga entre a placa e o *lathe dog*, como é possível ver na Figura 3-43.

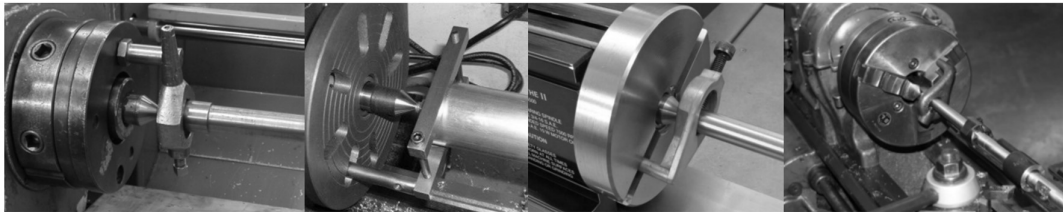


Figura 3-43 Exemplos de aplicações de diferentes conjuntos de placas de arrasto e *lathe dogs*

3.3.3 Luneta

A Luneta é um acessório usado para apoiar peças de grande comprimento e/ou de secção reduzida. Torna, deste modo, a maquinação possível, reduzindo a vibração - flexão da peça que é criada pelo vão entre os pontos e pela força de corte. Como regra, é usado quando é torneada uma peça entre pontos, em que a sua relação comprimento/diâmetro seja 10:1 ou mais [8]. Existem três tipos de lunetas: fixa, móvel e autocentrante.

A luneta fixa (Figura 3-44 e Figura 3-45) é montada no barramento do torno. É composta por três parafusos de ajuste que têm a função de centrar a peça. A luneta deve estar encostada levemente à peça, sem folga, de maneira a girar suavemente.



Figura 3-44 Luneta Fixa em torno de grandes dimensões [31]

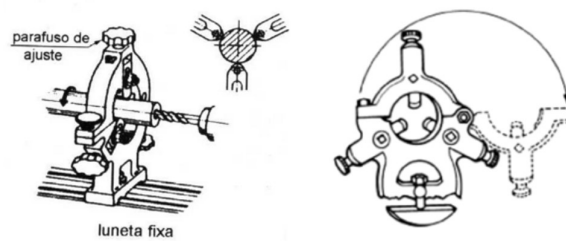


Figura 3-45 Luneta fixa [8], [32]

No caso de a peça a torner não ter secção circular e seja adequado o uso de uma luneta, deve ser aplicado um acessório, (*CatsHead*, Figura 3-46), de modo a permitir a rotação da peça livremente na luneta. Este acessório tem parafusos de ajuste para o centrar relativamente à peça.



Figura 3-46 Acessório usado para peças irregulares (*CatsHead*)

A luneta móvel é fixa ao carro do torno, de modo a movimentar-se em concordância com a ferramenta de corte. É usada quando é pretendido torner longas extensões da peça. Em geral, este acessório possui duas pontas ajustáveis: a superior e a lateral, que trabalha do lado oposto à ferramenta de corte (Figura 3-47).

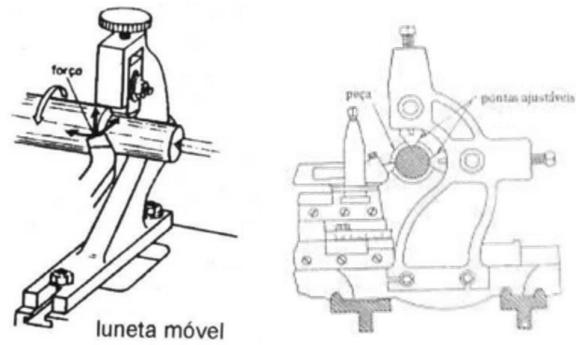


Figura 3-47 Luneta Móvel [32]

A luneta autocentrante é uma fixa de alta precisão que garante um tempo reduzido de *set-up* da peça (ver Figura 3-48).

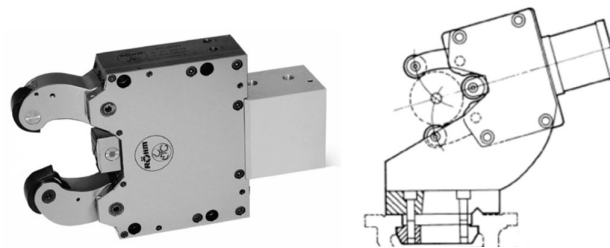


Figura 3-48 Luneta Autocentrante [13]

3.3.4 Compensação centrífuga

A Bucha com compensação contem componentes interiores que atuam de modo a contrariar a perda de força de aperto criada com o aumento da velocidade de rotação.

Este equipamento é normalmente composto por contrapesos, que geram força centrífuga que compensa a força centrífuga dos grampos (Figura 3-49).

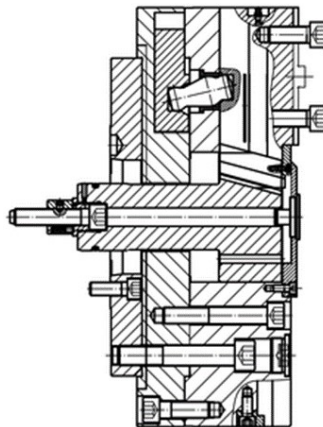


Figura 3-49 Bucha com compensação centrífuga.

3.3.5 Indexação

Esta Bucha de Indexação (*Indexing Chuck*) é composta por dois grampos ou *console chuck* (Figura 3-50) com indexação manual ou automática.

Com este tipo de fixação é possível operar peças por dois ou mais lados num único *set-up*.

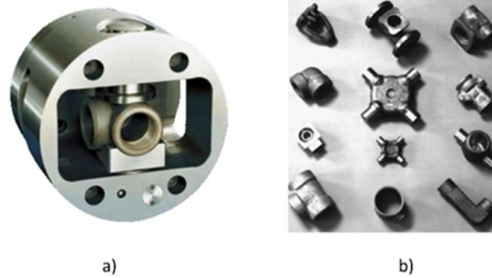


Figura 3-50 a) Bucha com indexação b) Tipologia de peças torneadas com bucha de indexação

3.3.6 Sistemas de controlo de posição de peças em porta-peças

Como referido em 2.2 existem preocupações em garantir o posicionamento entre a peça e o sistema de fixação.

A existência de sistemas de localização e aperto da peça nem sempre asseguram a correta posição da mesma. Deste modo, quando os sistemas são carregados manualmente, os operadores executam uma inspeção visual de modo a garantir o assentamento das peças nos pontos de encosto.

Em máquinas que usem um sistema de autoalimentação, tais procedimentos não seriam viáveis, devido ao elevado tempo despendido para esse processo. Assim sendo, é comum usar dispositivos automáticos de controlo, tais como sondas e sensores de pressão.

No sistema representado na Figura 3-51 a colocação das peças é feita automaticamente através de um braço de alimentação. Existem na bucha três orifícios (assinalados com círculos) que são pressurizadas pelo interior (Figura 3-52), simultaneamente à inserção da peça. Quando a pressão não se enquadra nos parâmetros pré-estabelecidos, a peça não tem o encosto pretendido ou a própria peça apresenta defeito, resultando na extração da mesma.



Figura 3-51 Sistema de encosto com 3 pontos de controlo por pressão.

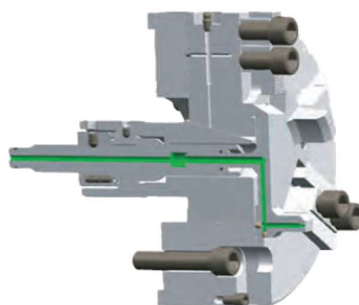


Figura 3-52 Vista em corte de bucha com *Air Sensing* [13]

Existem também outros sistemas complementares a este, tais como sistemas de limpeza da bucha, que podem ser manuais ou integrados na própria máquina e bucha (ver Figura 3-53), uma vez que a apara tende a acumular-se. Este problema resulta numa maior rejeição de peças derivado ou a má fixação das mesma ou mesmo à rejeição por falha no posicionamento.

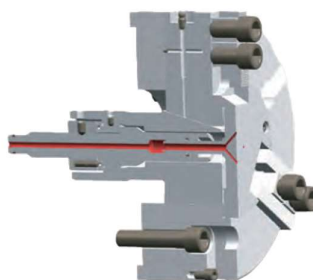

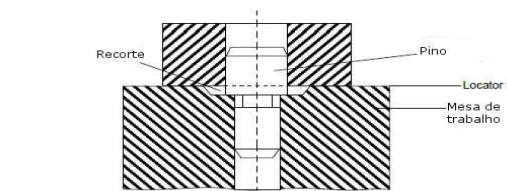
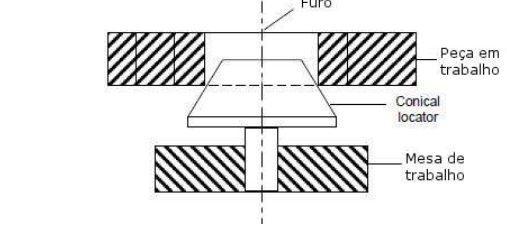


Figura 3-53 Exemplo de Sistema de limpeza tipo Blast Air [13]

3.4 Diferentes meios usados para localizar uma peça

Estes métodos podem ser escolhidos tendo em consideração o tipo de trabalho a que a peça será sujeita, o volume que será produzido, requisitos de projeto (tolerâncias, precisão associada) e tipo de material (Tabela 10 e Tabela 11).

Tabela 10- Estratégia de colocação de pinos-guia

<p>Localizador Plano (Flat Locator) Este tipo de métodos de localização são utilizados para peças com faces maquinadas planas [2].</p>		<p>Na primeira imagem existe uma ligeira reentrância, de modo a permitir o correto encostamento entre as faces da peça com o <i>jig</i>.</p> <p>Na segunda imagem é apresentado um pino que permite o encosto ajustável da peça.</p> <p>Na terceira imagem existe a vantagem de haver espaço em volta da peça para efetuar mais facilmente a sua troca, o que facilita o processo de automatização.</p>
<p>Localizador cilíndrico (Cylindrical Locator) É utilizado para componentes que tenham na sua composição furos. A face próxima do pino cilíndrico é recortada para garantir um bom encosto [2].</p>		
<p>Localizador cónico (Conical Locator) O tipo de localizador cónico é utilizado em peças com um furo. Deste modo é possível garantir a correta posição do furo, ficando centrado relativamente ao pino cónico, com a vantagem de ter a capacidade de suportar diferentes diâmetros de diferentes peças em trabalho [2].</p>		

(Continua)

Tabela 10- Estratégia de colocação de pinos-guia (Continuação)

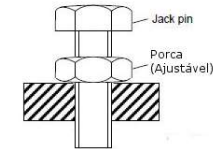
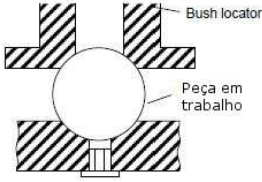
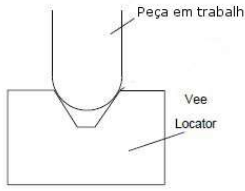





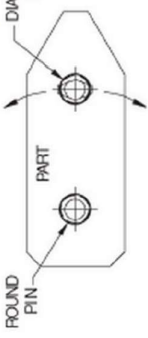
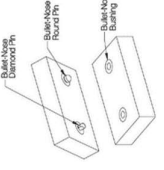

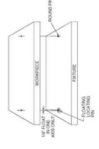
<p>Jack Pin Locator Este método é utilizado para suportar peças em bruto, com elevada rugosidade. Tem a vantagem de ser ajustável através do porca e da rosca do parafuso [2].</p>	
<p>Drill Bush Locator É utilizado para segurar peças cilíndricas. Tem uma abertura cônica por motivos de localização e por vezes no corpo do jig pode ser colocado um parafuso para o ajuste da altura [2].</p>	
<p>Bloco-V (Vee Locators) É um método rápido e eficaz de garantir a localização da peça. É usado para peças circulares ou semicirculares. A parte principal é em forma de V que normalmente é fixa ao <i>jig</i> [2].</p>	

Tabela 11- Pinos de Localização para furos tabela síntese

Principais características de Pinos de localização	Round	Diamond	Round	Diamond	Bullet-Nose	Cone Locator	Floating Locating
Ilustração							
Descrição	<p>Pinos de localização de elevada precisão com reforço para suportar elevadas cargas descendentes. É também usado para localização lateral.</p>	<p>Igual ao pino Round, mas este pino somente garante a localização num eixo</p>	<p>Com ponta cônica para fácil carregamento, feito para resistir a cargas descendentes, superior as cavilhas <i>standard</i>. O pino Round é um pino primário que garante a localização em dois eixos; por sua vez, o pino Diamond prende um só eixo, evitando localização redundante.</p>	<p>Pino de precisão. É usado frequentemente com uma bucha para garantir o alinhamento entre duas peças.</p>	<p>Pino de média precisão. Proporciona uma montagem muito rápida.</p>	<p>Pino deslizante que permite uma elevada precisão num eixo. É normalmente usado em conjunto com um Round pin. Funcionamento semelhante ao Diamond, mas permite maiores variações</p>	

(Continua)

Tabela 11- Pinos de Localização para furos tabela síntese

Pinos de localização (continuação)	Round	Diamond	Round	Diamond	Bullet-Nose	Cone Locator	Floating Locating
Tolerância					<p>Diâmetro de cabeça e de haste com:</p>  <p>Diâmetro de cabeça e de haste com:</p>  <p>Bucha ID e OD:</p> 		
Bucha recomendada			N/A				N/A
Montagem exemplo	<p>Estes tipos de pinos são usados recorrentemente em conjunto:</p> 						

3.5 Tipos de grampos de aperto

Este subcapítulo deve-se a que por vezes é necessário utilizar métodos de aperto auxiliares para apertar a peça a maquinar, nestes casos é comum o uso de grampos auxiliares que são utilizados em conjunto com baixas velocidades de rotação tipicamente.

Existe uma enorme variedade de grampos de aperto. O tipo específico de grampo utilizado depende da operação a que a peça é sujeita, ferramenta de corte, forma da peça e dimensão da mesma. Outras considerações, tais como velocidades de operação ou troca de peça, também são tidas em conta (ver Figura 3-54).

A utilização deste tipo de grampos não é muito comum em torno, porém existem alguns casos de buchas modulares em que por vezes podem ser usados.

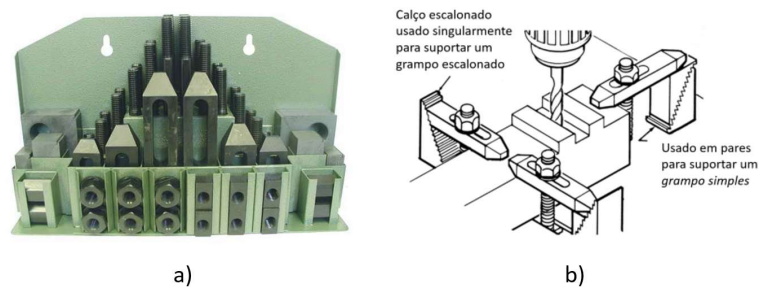


Figura 3-54 a) Kit de elementos de aperto simples [5] e b) Representação de uso recorrente de caços e grampos [8]

3.5.1 Strap Clamps

Este tipo de Grampos representa o método de fixação e aperto de peças mais simples existente, podendo ser agrupados por três classes, em que cada uma representa a forma de criar a ação de alavanca no grampo (ver Figura 3-55).

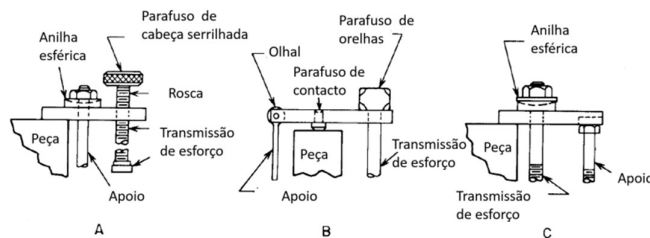


Figura 3-55 Classes de strap clamps [7]

Excetuando os casos em que o fuso serve de alavanca (Figura 3-55 A), tem que se ter em conta que o fuso transmite força à peça e deve ser colocado o mais próximo possível da mesma,

de modo a obter uma maior força de aperto. Como mostrado na Figura 3-56 em a), a força transmitida à peça é metade da força de aperto do fuso enquanto que em b), variando unicamente o afastamento do fuso, passa para dois terços. Em c), a distância do fuso deve ser mantida simétrica se a força pretendida for a mesma para sustentar ambas as peças [7], [9], [33].

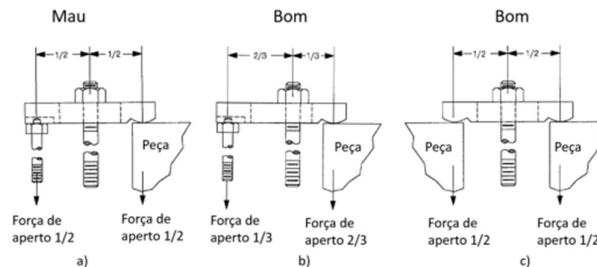


Figura 3-56 Otimização da força de aperto [7]

3.5.2 Screw Clamps

São grampos de aperto mecânicos caracterizados pela transferência de força por meio de uma rosca.

Oferecem um campo de aplicações praticamente ilimitado, baixo custo e em muitos casos configurações menos complexas. Como maior desvantagem, pode considerar-se o tempo de operação comparando com elementos de aperto rápidos (*Slide Clamps, Quick Nuts...*).

Os dois tipos de *screw clamps* geralmente usados são classificados como de aplicação direta, de pressão através do parafuso, ou de aplicação de pressão indireta.

A principal vantagem de aplicação de força indireta é a possibilidade de multiplicar a força de aperto, aumentando o braço entre o parafuso e a área de aperto (Figura 3-57).

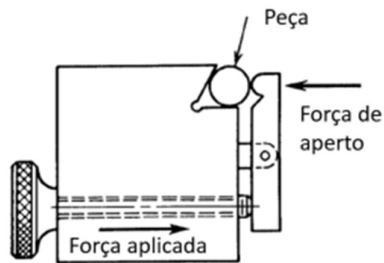
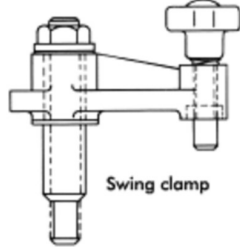
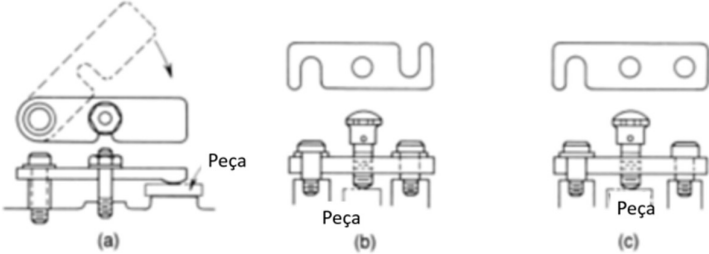
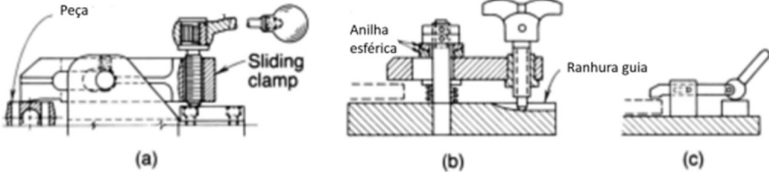
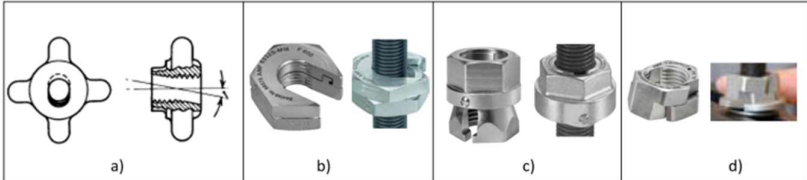


Figura 3-57 Screw Clamp com transmissão de força indireta [7]

Existem algumas variantes comerciais descritas na Tabela 12.

Tabela 12- Variantes comerciais de Screw Clamps

<p><i>Swing Clamps</i></p> <p>Combina a transmissão de força por elemento roscado, com um braço pivotante.</p>	
	
<p><i>Slide Clamps</i></p> <p>Baseado nos sistemas de aperto simples, estes elementos têm a vantagem de proporcionar um aperto rápido da peça. Com o deslocar do grampo, torna-se possível a troca de peça sem a necessidade de remoção de grampos.</p>	
	
<p><i>Quick Knobs</i></p> <p>São usados para aumentar a produção reduzindo o tempo de troca de peças, a um baixo custo. Estas porcas são criadas de modo a que, quando é retirada a pressão, sejam de rápida remoção.</p>	
	

3.5.3 Hook Clamps

Semelhante ao *Swing clamp* mas de dimensões reduzidas, são úteis para locais apertados e de difícil acesso (Figura 3-58) [9].

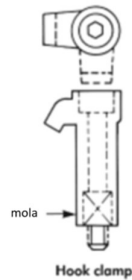


Figura 3-58 Hook Clamp [8]

3.5.4 Cam Clamp

É outro método de aperto de peças bastante simples, que, devido ao seu modo de construção e trabalho, não é aconselhado para segurar peças sujeitas a vibrações fortes, pois essa vibração pode soltar o grampo.

Os *Cam Clamps*, que aplicam força diretamente na peça, devem ser colocados de modo a resistir à sua tendência natural de deslocar a peça no processo de engate, sendo deste modo posicionados de maneira a que a peça seja empurrada contra os localizadores.

Podem ser concretizadas montagens usando a alavanca excêntrica aplicada a grampos simples, que tem como vantagem diminuir a possibilidade de afrouxar o grampo ou deslizar a peça no aperto (Figura 3-59 b)).

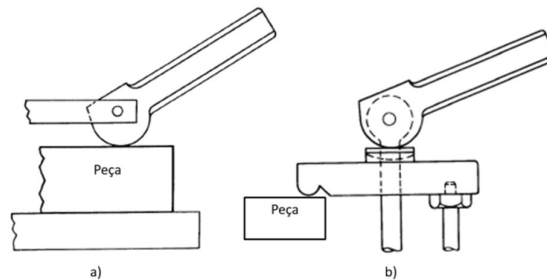


Figura 3-59 Atuação direta a) e Atuação indireta b) de Cam clamps [9]

O sistema mostrado na Figura 3-60 usa o mesmo princípio dos *Cam clamps* apropriado para operações de fresagem e de furação (peças de superfície planas). Usa uma porca e um parafuso excêntrico para comprimir a peça em trabalho.

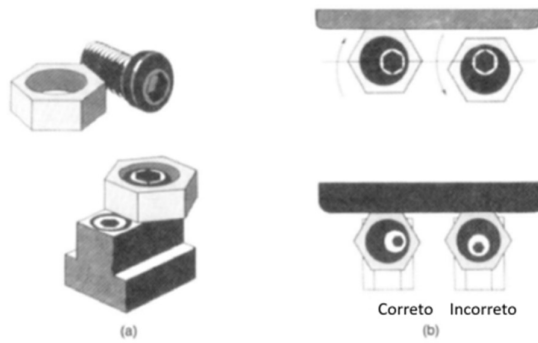


Figura 3-60 Parafuso de cabeça excêntrica com elemento de aperto hexagonal [8]

Uma variante a este tipo de grampos é *wedge action clamp*. Este tipo de grampos usa o princípio do plano inclinado para segurar a peça. São geralmente encontrados em cunha plana ou cônica (Figura 3-61).

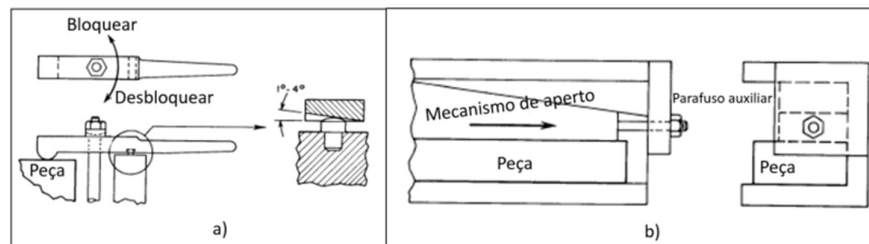


Figura 3-61 Grampos com princípio do plano inclinado [9]

4

Metodologia

Esta metodologia tem como objetivo tornar mais expedita a seleção acertada de um sistema de fixação giratório. Para tal, é necessário *a priori* tomar um conjunto de decisões que se prendem com a análise dos desenhos, definição de um plano de maquinação, sequência de operações, escolha do torno para realizar a operação e a seleção das ferramentas de corte. Sendo assim o planeador de processo terá de interpretar os requisitos de projeto, verificar a sua viabilidade de execução e saber as limitações dos recursos disponíveis.

Um estabelecimento correto dos processos de fabrico de acordo com as referências para as tolerâncias da peça (normalmente designadas pelo termo em inglês *datum*), permite a escolha de zonas de fixação e do número mínimo de apertos na sequência de operações. Para tal, como explicado na dissertação “Estudo da Industrialização de Peça Complexa com Base nas Tolerâncias”[34], pode recorrer-se à matriz DSM (*Design Structure Matrix*).

4.1 Estrutura da metodologia

A metodologia é estruturada em cinco fluxogramas, os quais devem ser percorridos de acordo com a sequência numérica das respetivas designações (0-1-2-3-4-5):

- Fluxograma 0 – Tomada de decisão quanto à utilização de contraponto e posteriormente quanto ao número de peças;
- Fluxograma 1 – Tomada de decisão para quantidades elevadas;
- Fluxograma 2 – Tomada de decisão para peça única ou quantidades reduzidas;
- Fluxograma 3 – Tomada de decisão para torneamento com contraponto
- Fluxograma 4 – Tomada de decisão para casos especiais

O uso destes deve ser precedido pela análise da informação auxiliar sobre os critérios usados nos fluxogramas.

4.1.1 Critérios de decisão e comentários de auxílio ao uso dos Fluxogramas

O conjunto de critérios usados para as tomadas de decisão no uso dos fluxogramas está expresso num guia rápido de consulta (ver Figura 4-1). Na tomada de decisão num qualquer fluxograma, quando se mostra pertinente, está assinalado numa referência ao guia (exemplo: Cr.1 ou Com1).

4.1.2 Fluxograma de apoio à decisão da seleção de sistemas de aperto giratórios

O primeiro fluxograma é denominado por **Fluxograma 0** que tem como função encaminhar o utilizador para os restantes fluxogramas, tendo em conta a possibilidade de torneamento com contraponto ou quanto ao número de peça a maquinar.

4.1.3 Fluxograma de tomada de decisão para quantidades reduzidas

O Fluxograma 1 é usado quando existe a necessidade de produções automatizadas e/ou em larga escala (ver Figura 4-3 e Figura 4-4). Este fluxograma abrange o maior leque de elementos de aperto do mercado possibilitando o uso de buchas, *collets* e mandris.

4.1.4 Fluxograma de tomada de decisão para peça única ou quantidades reduzidas

O Fluxograma 2 é usado para quando não existem as necessidades presentes no fluxograma 1, ou devido a constrangimentos monetários, sendo preferível para uma produção reduzida ou para peças únicas (ver Figura 4-5).

4.1.5 Fluxograma de tomada de decisão para torneamento com contraponto

O Fluxograma 3 é usado para peças que tenham a necessidade de serem torneadas com o auxílio de um contraponto, podendo estas ser realizadas a partir de sistemas híbridos (mistos) ou convencionais entre pontos (ver Figura 4-6). Este processo é extremamente recomendado para torneamento de eixos e peças em que seja requerido uma precisão elevada em torneamento pelo exterior.

4.1.6 Fluxograma de tomada de decisão para casos especiais

Por fim o Fluxograma 4 é utilizado no auxílio da escolha de soluções especiais (ver Figura 4-7). Depreende-se como especial, toda e qualquer solução que seja criada para cumprir requisitos de projeto que não possam ser obtidos pelas soluções contempladas pelos anteriores fluxogramas.

Critérios de decisão e comentários de auxílio ao uso dos fluxogramas

Cr1 Fatores predominantes que influenciam a escolha de torneamento com contraponto:
 -Dimensão peça, comprimento tipicamente superior ao diâmetro;
 -Eixo de referência requerido ;
 -Torneamento exterior;
 -Alta precisão;
 - Elevada rapidez de retirar e colocar novamente a peça com muito alta repetibilidade.

Cr2 Benefícios do uso de Collet:
 - Aperto da peça pelo OD;
 -Reduzida deformação da peça;
 -Baixa flexibilidade;
 - Permite torneamento de alta velocidade;
 -Elevada precisão;
 - É possível o aperto e desaperto do collet em rotação;
 - Dimensões de secção reduzidas.



Cr3 Benefícios do uso de Mandril:
 - Aperto da peça pelo ID;
 -Maioritariamente para peças de secção transversal circular;
 -Reduzida deformação da peça;
 -Baixa flexibilidade;
 - Permite torneamento de alta velocidade;
 -Elevada precisão;
 - É possível o aperto e desaperto do mandril em rotação;
 -Dimensões de secção reduzidas.



Cr4 Bucha de grampos independentes:
 -Buchas independentes tipicamente de 4 grampos ajustáveis ou ajustáveis por pares conjugados;
 -Comercializadas com 2, 4 ou 6 grampos. A escolha entre 2, 4 ou 6 grampos deve ser feita tendo em conta a geometria da secção transversal da peça;
 -Possibilidade de through hole para acolher parte da peça ou mesmo para suportar o ponto fixo.

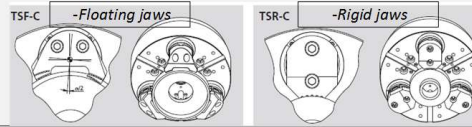


Cr5 Binários elevados:
 -Elevada taxa de remoção de material;
 e/ou
 -Diâmetro da peça elevado;
 e/ou
 -Velocidades elevadas.

Cr7 Rubberflex
 Aconselhável para peças em bruto ou com mau acabamento superficial.



Cr6 Floating Jaws ou Rigid Jaws
 A escolha deve ser feita tendo em conta o tipo de superfície na zona de aperto bem como a sua capacidade de deformação. Uma vez que:
 -Floating jaws, permitem uma maior adaptação à peça devido à liberdade de rotação grampo;
 -Rigid jaws, mais adequado para peças pré-maquinadas (solução mais económica).



Cr8 Montagem híbrida
 É um tipo de montagem que combina dois ou mais tipos de sistemas de aperto, como um bucha com ponto fixo.



Cr9 Aperto longitudinal
 Decisão tomada a partir da capacidade da peça ser suportada pelas diferentes zonas de aperto, bem como, tendo em conta a relação da mesma com a zona de operação, de modo a não interferir com o sistema de aperto escolhido.



Cr10 Bucha Diafragma
 Esta decisão deve ser tomada a partir de razões que se prendem com o fabrico com tolerâncias apertadas. Uma vez que uma bucha diafragma permite um aperto consistente ao longo da sua vida útil.
 - Não precisa de manutenção ou lubrificação.



Cr11 Tipos de grampos
 O critério de seleção é consoante a superfície a apertar.
 -Grampos rígidos, com entalhes axiais e radiais são usados para zonas de aperto em bruto ou irregulares.
 -Grampos macios (maquináveis) são usados para peças especiais ou para peças com aperto em superfícies acabadas.
 -Grampos com entalhes radiais são usadas para peças com boa superfície de aperto.



Com1 Compensante
 -Os grampos adaptam-se a uma referencia de localização da peça já previamente estabelecida.
 -Bucha com maior gama de aplicações (mais polivalente).

Com2 Buchas especiais
 -Projetar a bucha de acordo com os requisitos requeridos pela peça.
 -Geralmente são buchas que combinam soluções existentes.



Com3 Through hole
 -Utilizado para tubos com elevado comprimento;
 - Para peças que tenham a necessidade de ser introduzidas na bucha .

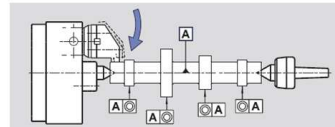
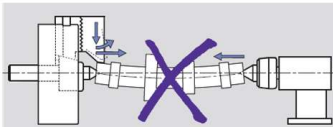
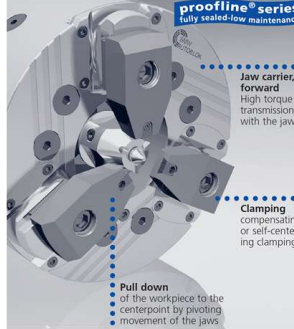
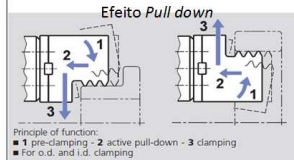


Figura 4-1 Critérios de decisão e comentários de auxílio ao uso dos fluxogramas

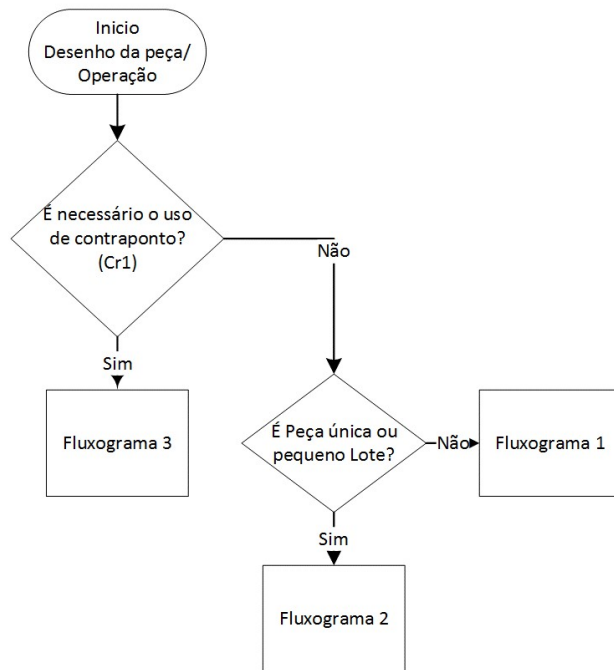


Figura 4-2- Fluxograma 0, tomada de decisão quanto à utilização de contraponto e posteriormente quanto ao número de peças.

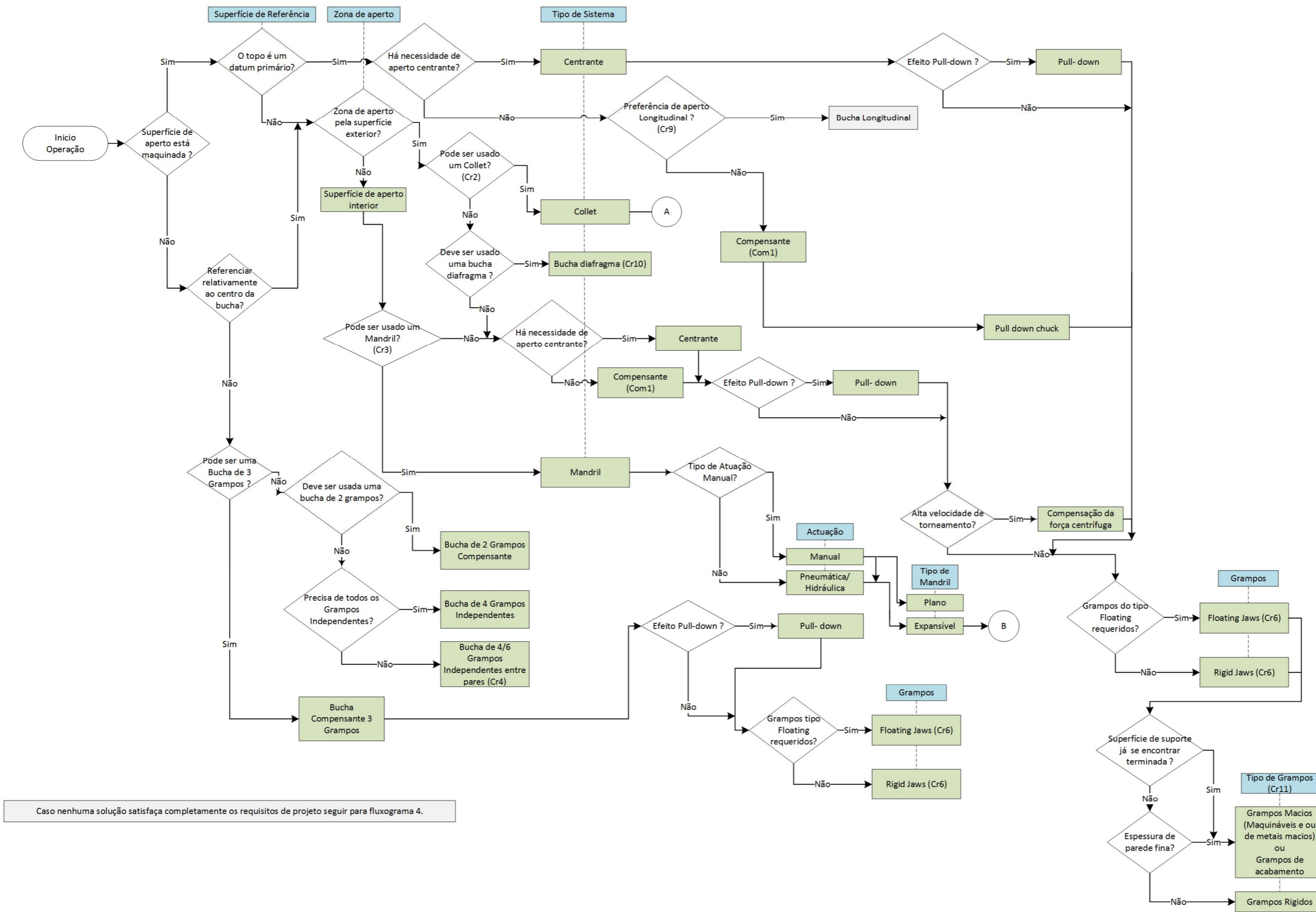


Figura 4-3- Fluxograma 1, Tomada de decisão para quantidades elevadas

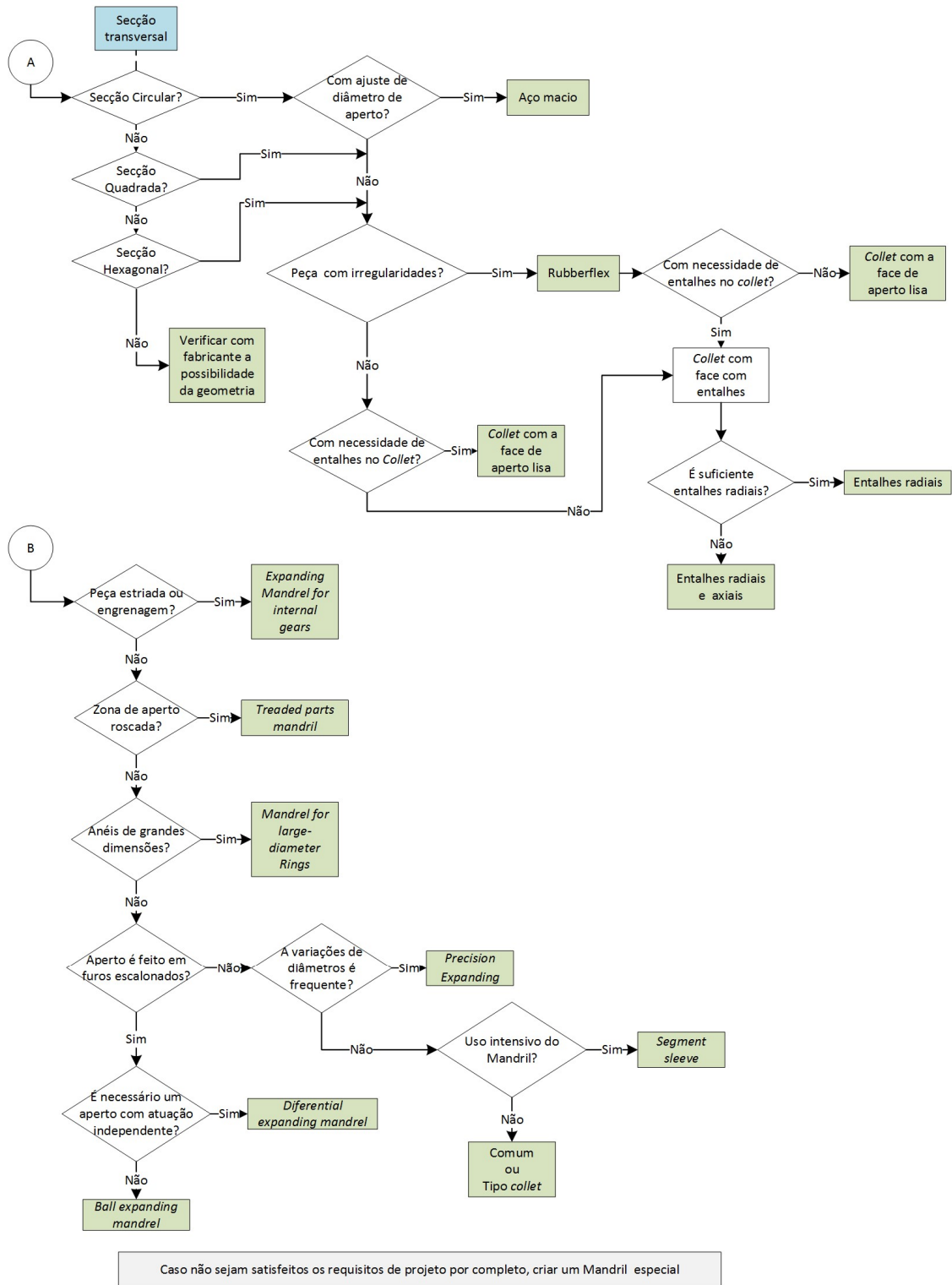


Figura 4-4- Fluxograma 1, Tomada de decisão para quantidades elevadas (continuação)

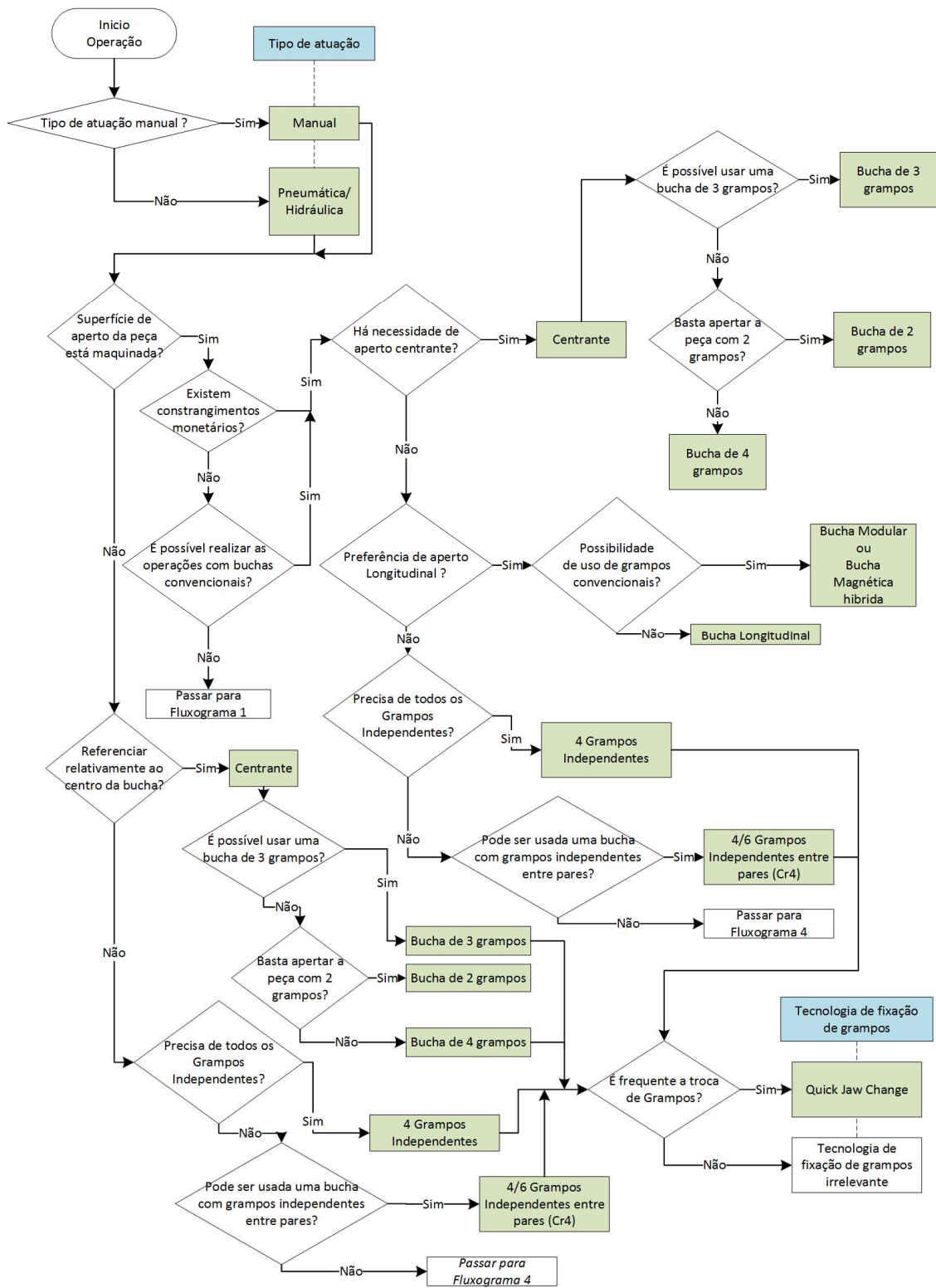


Figura 4-5 Fluxograma 2, Tomada de decisão para peça única ou quantidades reduzidas

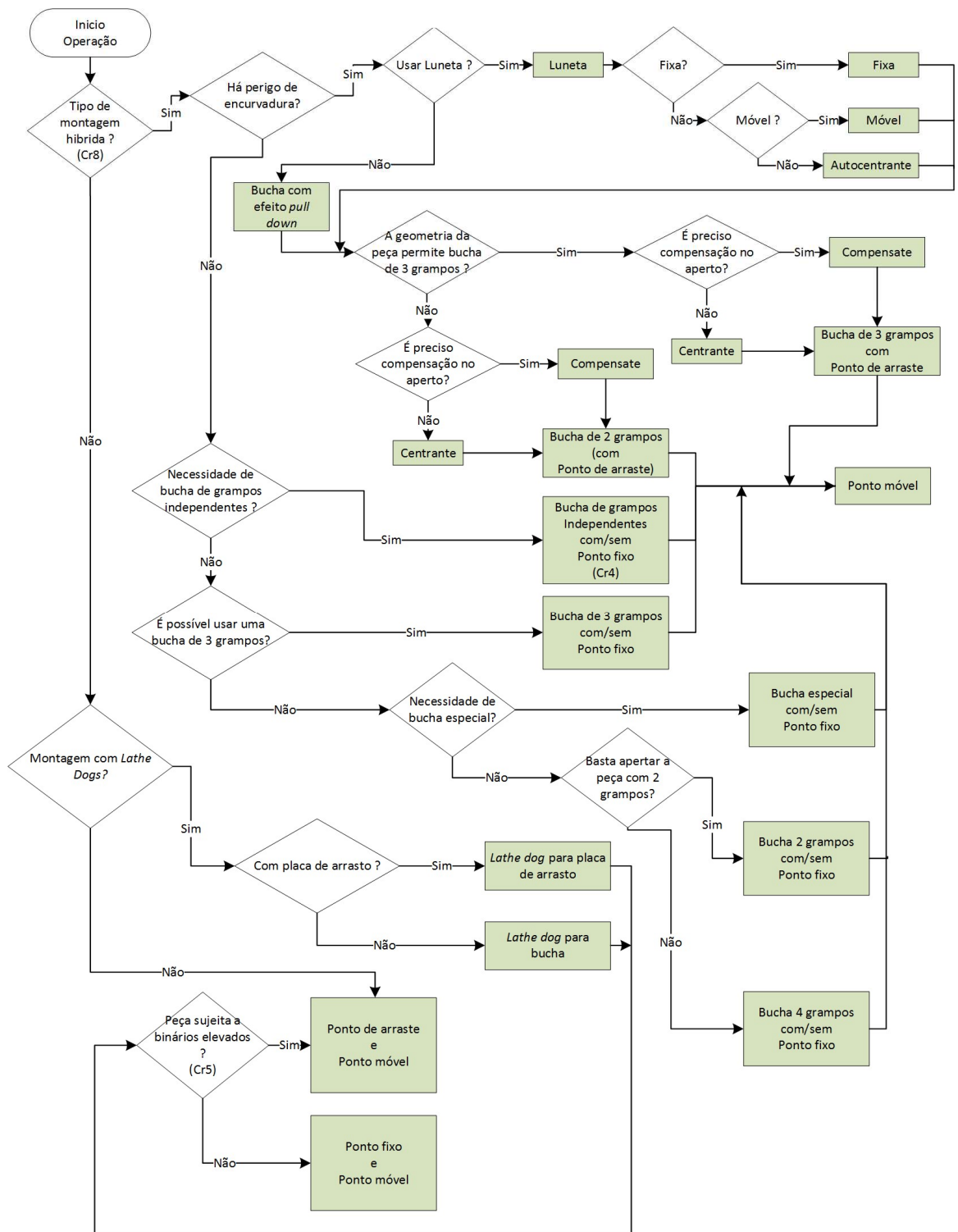


Figura 4-6- Fluxograma 3, tomada de decisão para torneamento com contraponto

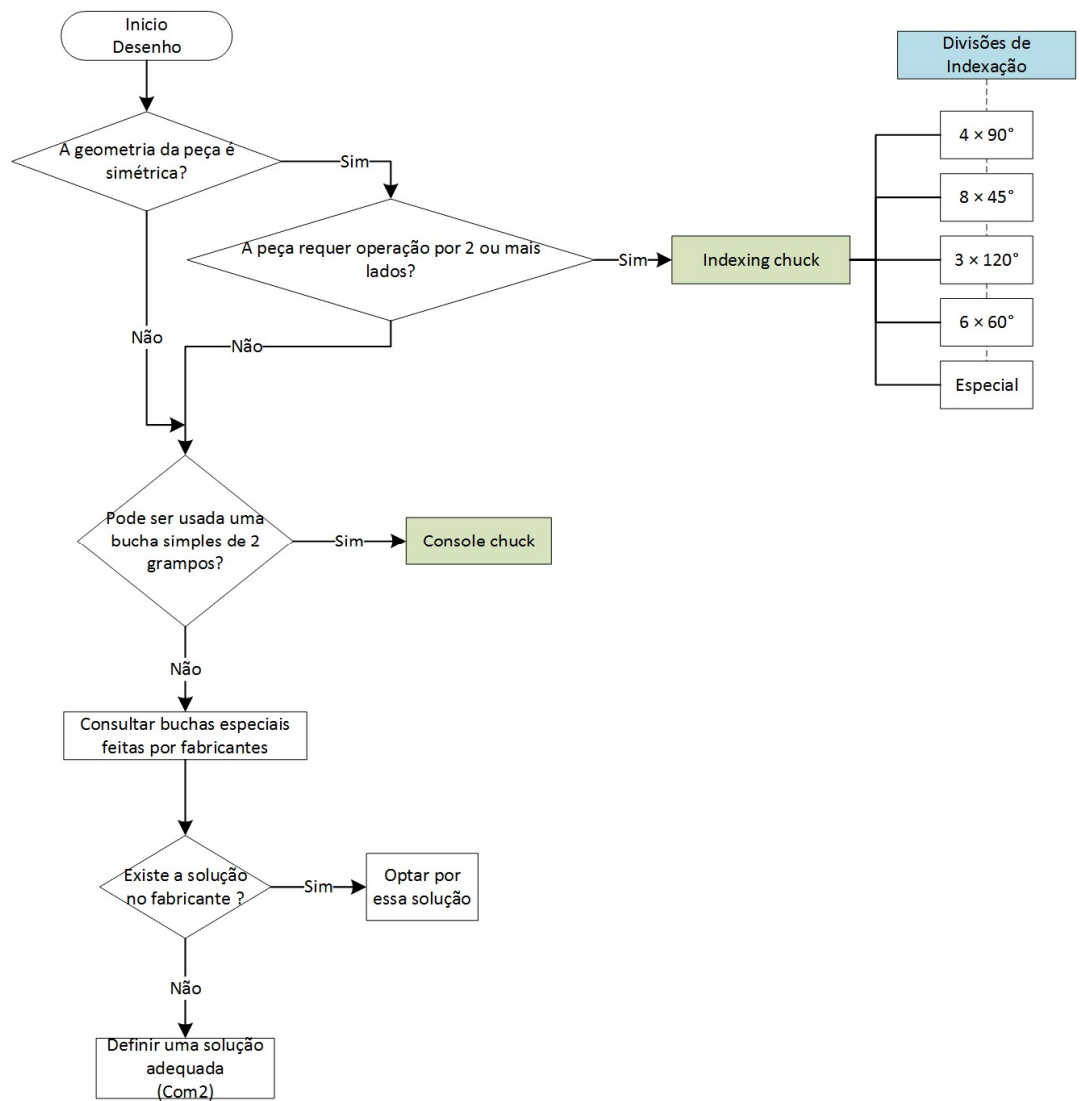


Figura 4-7- Fluxograma 4, Tomada de decisão para casos especiais

4.2 Casos de estudo

Da colaboração com uma empresa industrial, para este trabalho foram disponibilizados casos de estudo, de modo a testar a metodologia criada através dos fluxogramas. É de referir que será designado por operação (OP) um aperto da peça que pode compreender diversas tarefas de torneamento.

4.2.1 1º Caso de estudo

Como primeiro passo são analisados os requisitos de projeto e os respetivos desenhos (ver Figura 4-8 e Figura 4-9). A partir dessa análise, é estruturada uma sequência de operações.

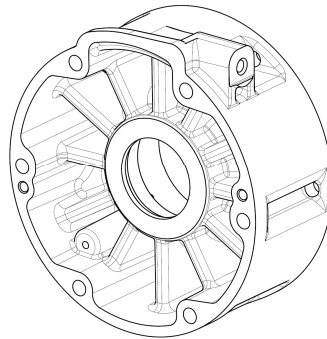


Figura 4-8 1º Caso de estudo

Para cada operação (OP) recorre-se aos fluxogramas, de modo a procurar uma solução adequada ao nosso problema.

No presente estudo, conclui-se que, para realizar a peça será necessário o torneamento em duas operações.

O número de peças a realizar enquadra-se em grandes séries.

4.2.1.1 Operação 10

Nesta fase são analisados os desenhos e referencia-se a peça a partir de três referências (*datums*).

A seleção das superfícies de referência é feita como mostrado na Figura 4-9 e na Figura 4-10, em que o *datum* A (representado a magenta) será a face de encosto da peça à bucha, o *datum* B (representado a bordeaux) representa a zona de aperto da bucha e o *datum* C (representado a azul) representa um sistema de encosto para referenciar a peça relativamente à bucha.

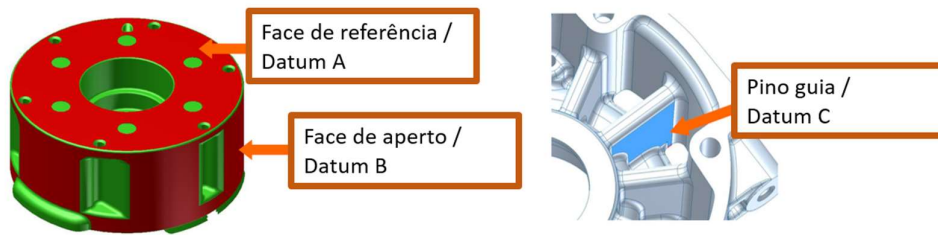


Figura 4-10 Faces de referência da primeira operação(1º caso de estudo, OP10)

Com esta informação são definidas as superfícies a maquinar. Como mostrado na Figura 4-11, a verde, parte da peça não torneada e, a azul, as superfícies que serão maquinadas.

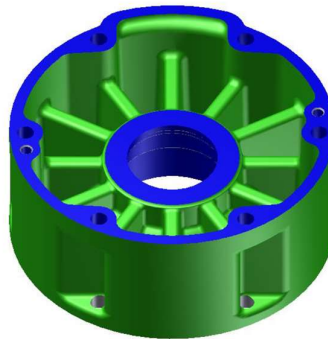


Figura 4-11 Superfícies a torner na OP10 (1º caso de estudo)

É assim criada uma sequência de operações de torneamento para o primeiro aperto, em que são criadas faces que serão posteriormente usadas como superfícies de referência para o segundo aperto da peça (OP20).

Fluxogramas de apoio à decisão para a OP10

O uso da metodologia tem início no **Fluxograma 0** (ver Figura 4-12).

1. No primeiro ponto de decisão é feita a escolha tendo em conta que a peça não respeita no critério 1 (Cr1) o primeiro pressuposto nem o terceiro, que são decisivos.
2. No segundo ponto de decisão, como referido acima, a peça destina-se a produção em larga escala.

O Fluxograma 0 dá a informação de que é necessário passar para o **Fluxograma 1** (ver Figura 4-13).

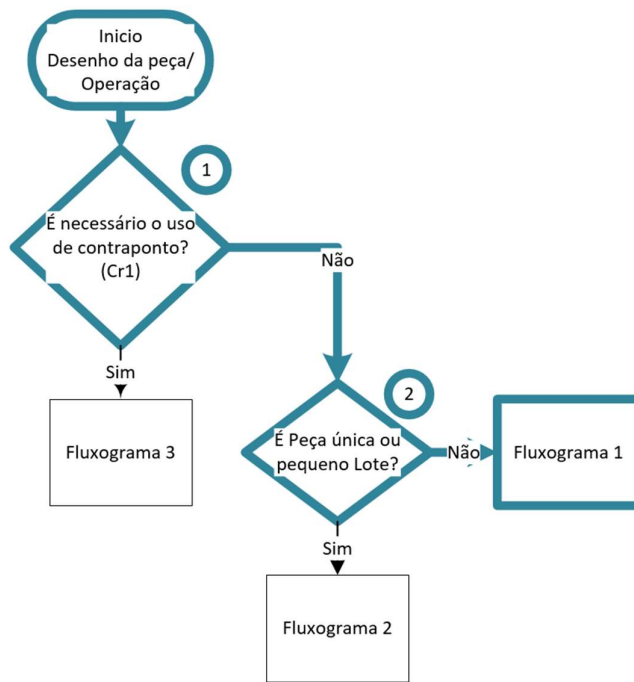


Figura 4-12 Caminho escolhido para a OP10 no Fluxograma 0 (1º caso de estudo)

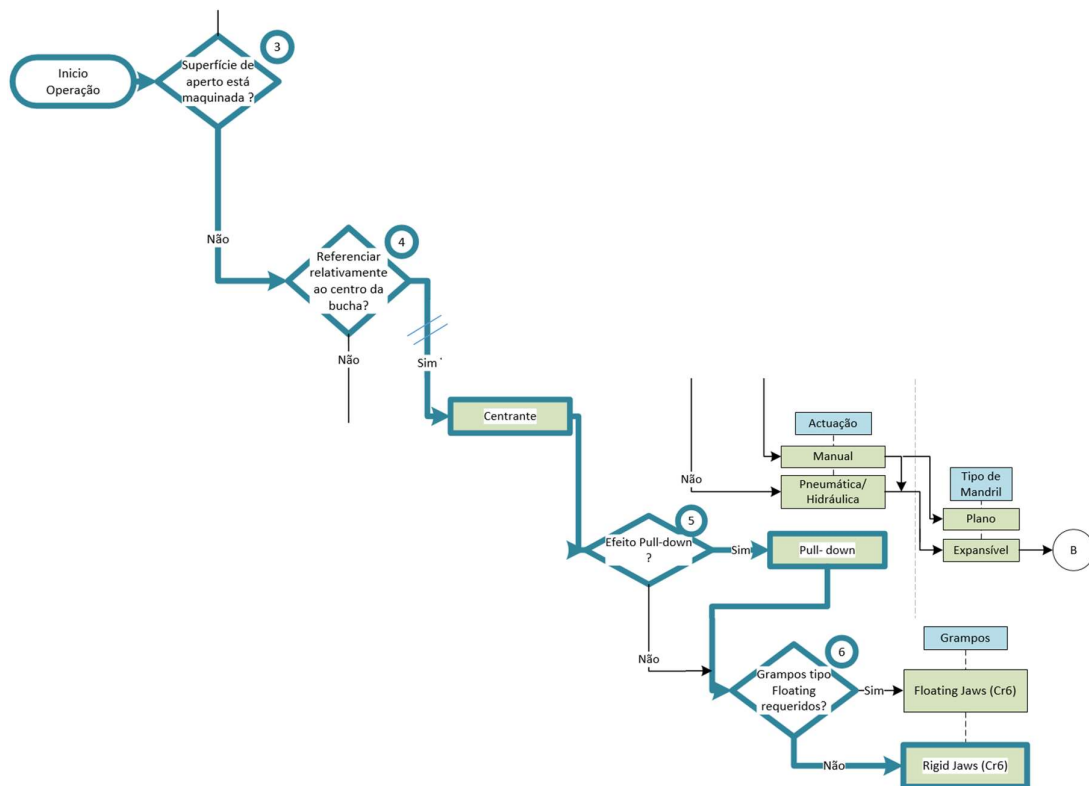


Figura 4-13 Caminho escolhido para a OP10 no Fluxograma 1 (1º caso de estudo)

3. Iniciando no fluxograma 1, e tendo em conta que o *datum* B foi escolhido como superfície de aperto da peça, e sabendo que a peça veio de fundição, não existe superfície maquinada para suportar da peça.
4. Devido à geometria da secção transversal da peça ser circular, com diferentes raios concêntricos a serem maquinados (ver Figura 4-9) opta-se por uma **bucha centrante**.
5. Uma vez que o *datum* A é de referência, é preciso garantir um bom encosto da superfície de topo da peça (*datum* A) à bucha. Opta-se por um sistema de bucha com **efeito *pull-down***. Este efeito facilita também a automatização do sistema de alimentação do torno, uma vez que promove um aperto mais consistente da peça.
6. Tendo em conta que a peça apresenta uma rugosidade superficial não muito elevada, apesar de ser proveniente de fundição, e uma superfície que permite uma boa área de aperto, opta-se por um conjunto de grampos do tipo ***rigid jaws***. Isto traduz-se numa redução no custo da bucha e permite alcançar as tolerâncias do projeto (Ver Cr6 Critérios de decisão e Comentários de auxílio ao uso dos diagramas).

Concluiu-se o Fluxograma 1, que dá por terminado o apoio à seleção do sistema de aperto para a OP10. O resultado é uma bucha centrante com efeito *pull-down* e com grampos do tipo *rigid jaws*. Com esta informação e sabendo as dimensões da peça, recorre-se ao catálogo de um fabricante, por exemplo, SMW-AUTOBLOK [18].

Com a Figura 4-14 podem observar-se três opções resultantes da escolha da bucha dada pela metodologia. Tendo em conta que a peça tem um diâmetro de 123mm, pode ser excluída a bucha FRS que tem uma gama de diâmetros superior à pretendida.

Mantém-se, ainda assim, duas opções válidas. Tendo em conta que a bucha irá operar para grandes séries ininterruptamente, não haverá interesse em ter grampos de troca rápida (*quick jaws*) restando, deste modo, a bucha TSR-C com grampos rígidos (Figura 4-15) como a melhor solução para a OP10.

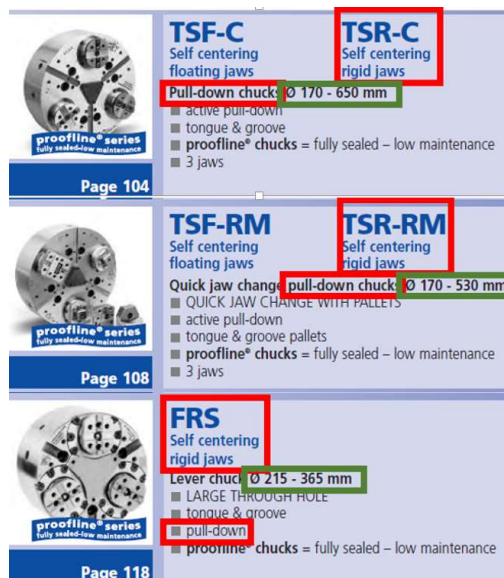


Figura 4-14 Tipos de buchas possíveis para a OP10 do catálogo da SMW

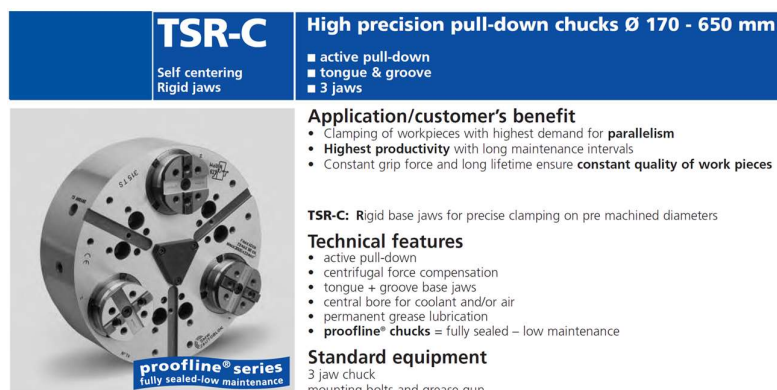


Figura 4-15 Bucha escolhida para a OP10 pertencente ao catálogo SMW [18]

4.2.1.2 Operação 20

Fazendo novamente uma análise do desenho estabelece-se a nova zona de aperto, tendo em conta as tolerâncias de projeto.

Como mostrado na Figura 4-16, para cumprir as tolerâncias assinaladas no retângulo azul referentes à face H, tem de ser cumprida uma tolerância de perpendicularidade com a face G ainda por maquinar, bem como uma tolerância de posição relativa ao datum G e ao datum E, estando este já maquinado, de modo que fará sentido ser um datum de referência para o aperto.

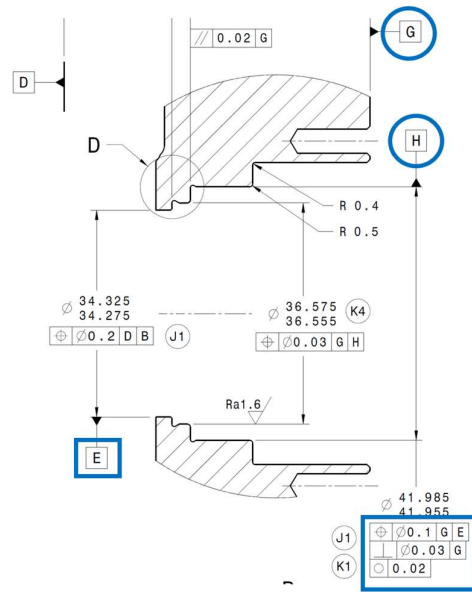


Figura 4-16 Exemplo de requisitos de projeto que determinam a fixação da peça (1º caso de estudo) na OP20

Deste modo são escolhido os três *datums* que referenciam a peça.

As superfícies de referência serão o *datum* D e o *datum* E como mostrado na Figura 4-17 e na Figura 4-18; a superfície de aperto será mantida (*datum* B) e será usado um furo para localizar a peça relativamente à possibilidade de rotação da mesma através de um pino guia

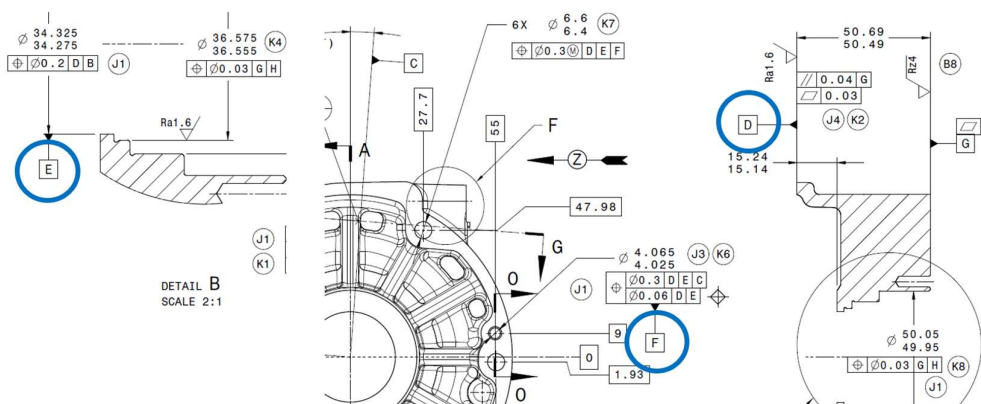


Figura 4-17 *Datums* relevantes para o aperto da peça na OP20 (1º caso de estudo)

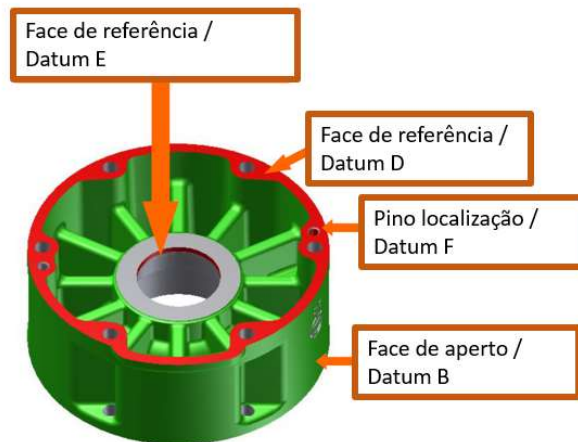


Figura 4-18 Faces de referência da OP20 (1º caso de estudo)

Com esta informação são definidas as superfícies a maquinar. Como mostrado na Figura 4-19, a verde parte da peça não torneada e a azul as superfícies que serão maquinadas.

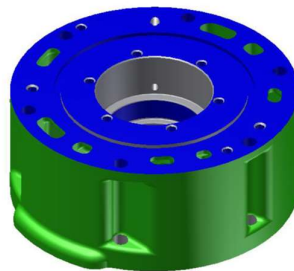


Figura 4-19 Superfícies a torner na OP20 (1º caso de estudo)

É usada agora a metodologia novamente para o segundo aperto de modo a realizar a OP20

Fluxogramas de Apoio à Decisão para a OP20

O uso dos fluxogramas tem início no **Fluxograma 0** (Figura 4-20).

1. No primeiro ponto de decisão é feita a escolha tendo em conta que a peça não respeita no critério 1 (Cr1) o primeiro pressuposto e o terceiro.
2. No segundo ponto de decisão, como já referido, a peça destina-se a produção em larga escala.

Passando para o **Fluxograma 1** (Figura 4-21 e Figura 4-22).

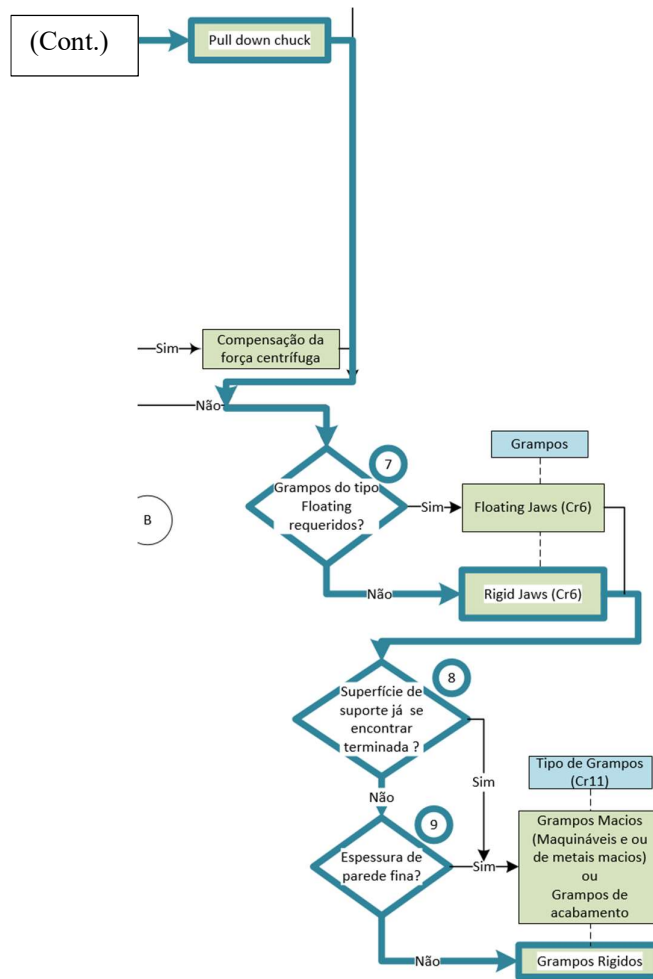


Figura 4-22 Caminho escolhido para a OP20 no fluxograma 1 (1º caso de estudo)

3. Após a OP10 existem superfícies maquinadas que são de referência.
4. O *datum* D é o topo da peça e é uma face de referência primária da peça.
5. A peça recorre ao *datum* E como elemento centrante da peça, não sendo, por isso, preciso uma bucha centrante.
6. Sabendo que as operações são compostas por facejamento e torneamento interior, não será possível ter um aperto longitudinal.
7. Tendo em conta que a peça apresenta uma rugosidade superficial não muito elevada e uma superfície que permite uma boa área de aperto, opta-se por um conjunto de grampos do tipo *rigid jaws*, que se traduz numa redução no custo da bucha e permite cumprir as tolerâncias do projeto.
8. Sendo a superfície de aperto o *datum* B que provém de fundição, não é necessário ter preocupações com possíveis indentações provocadas pelos grampos na peça.

9. Sendo que a espessura das paredes é considerada fina (4.5mm) mas não serão consideradas como tal, uma vez que a peça contém nervuras de reforço dessa mesma parede.

Concluiu-se o Fluxograma 1, que dá por terminado o apoio à seleção do sistema de aperto para a OP20. O resultado é uma bucha compensante, com efeito pull-down, com grampos do tipo rigid jaws de material rígido.

Com esta informação e sabendo as dimensões da peça, recorre-se ao catálogo de um fabricante, por exemplo, SMW-AUTOBLOK [18].

Com a Figura 4-23 podem observar-se três opções resultantes da escolha da bucha dada pela metodologia. Tendo em conta que a peça tem um diâmetro de 123mm, pode ser excluída a bucha FRC-N, que tem uma gama de diâmetros superior à pretendida.

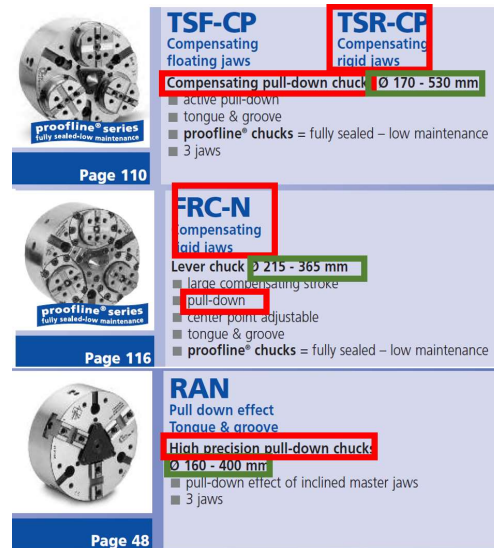


Figura 4-23 Tipo de buchas possíveis para a OP20 do catálogo da SMW



Figura 4-24 Buchas escolhidas para a OP20 pertencente ao catálogo SMW [40]

A escolha entre estas duas terá de ser feita com a ajuda de mais informação por parte do fabricante, visto que na bucha RAN não vem especificada a sua capacidade de ser compensante.

4.2.2 2º Caso de estudo

Como primeiro passo são analisados os requisitos de projeto e os respectivos desenhos. A partir dessa análise, é estruturada uma sequência de operações (Figura 4-25).

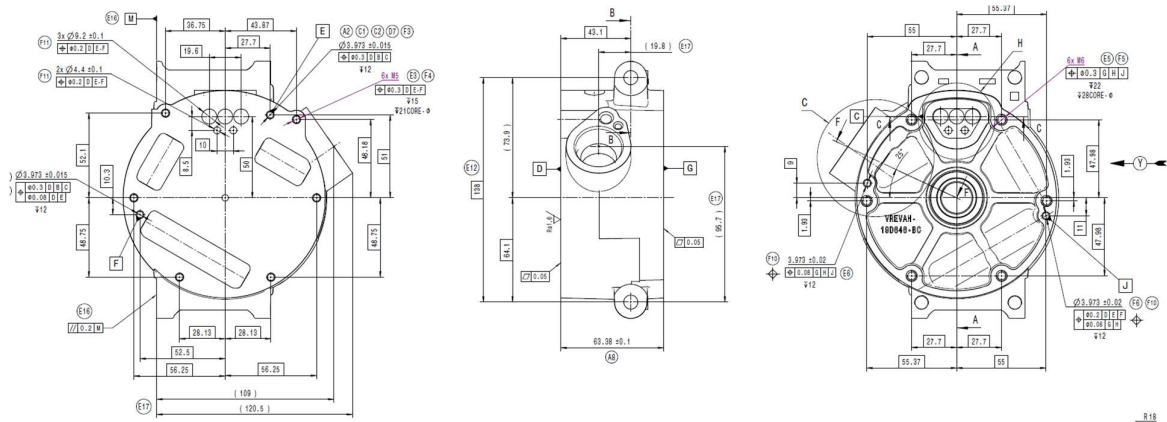


Figura 4-25 2º Caso de estudo

Para cada operação, recorre-se aos fluxogramas, de modo a procurar mais uma vez uma solução adequada ao problema.

No presente estudo, conclui-se que, para realizar a peça, será necessário o torneamento em duas operações, e uma terceira por fresagem. Para a presente dissertação só serão analisadas as operações de torneamento.

O número de peças a realizar enquadra-se em grandes séries uma vez que se trata de uma peça complementar à peça do 1º Caso de estudo já testada e que será inserida numa linha de produção fornecedora da indústria automóvel.

4.2.2.1 Operação 10

Nesta fase da análise referencia-se a peça a partir de três *datums* (como explicado no capítulo 2).

A seleção das superfícies de referência é feita como mostrado na Figura 4 25 e Figura 4 26, em que são usados *datums* provenientes do forjamento para referenciar e localizar a peça.

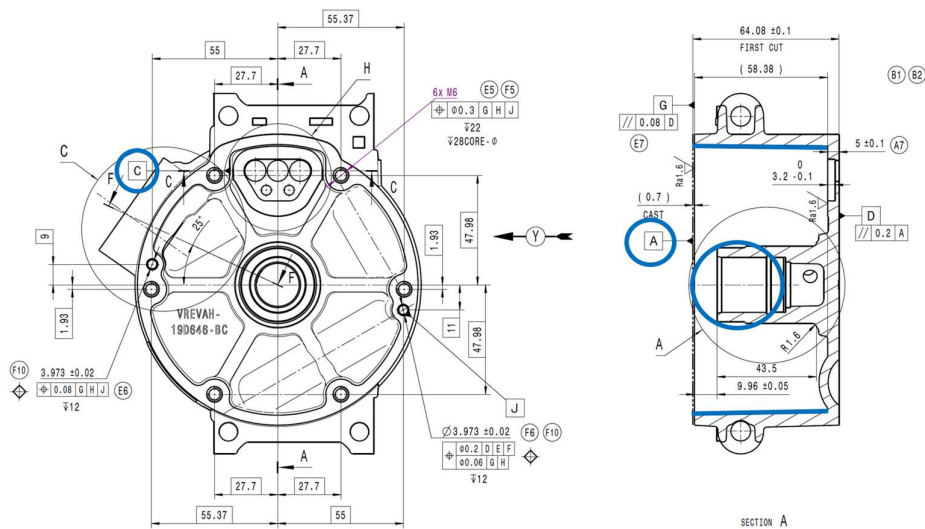


Figura 4-26 Seleção das superfícies de referência (2º caso de estudo OP10)

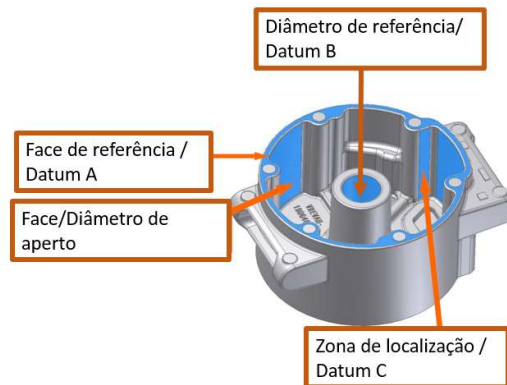


Figura 4-27 Faces de referência para a primeira operação (2º Caso de estudo OP10)

Com esta informação e tendo em vista previamente as superfícies a maquinar, são definidas as zonas a torneiar (Figura 4-28).

É assim criada uma sequência de operações de torneamento para o primeiro aperto, em que são criadas faces que serão posteriormente usadas como superfícies de referência para o próximo aperto (OP20).

Fluxograma de Apoio à Decisão para a OP10 (2º Caso de Estudo)

O uso da Metodologia tem início no **Fluxograma 0** (Figura 4-29).

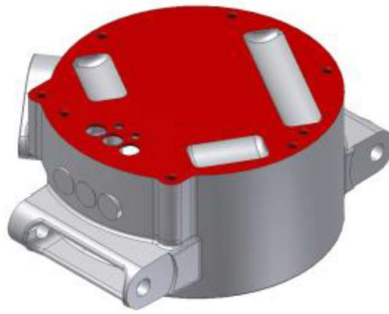


Figura 4-28 Superfícies a torner na OP10 (2º caso de estudo)

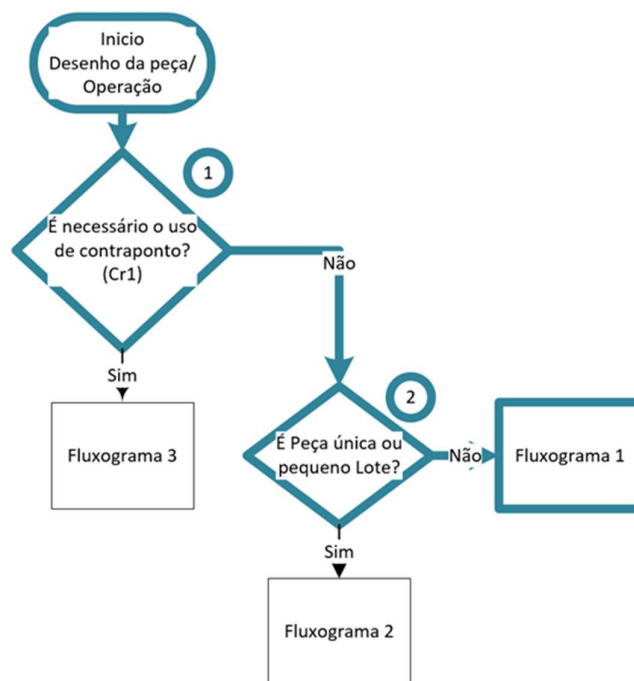


Figura 4-29 Caminho escolhido para a OP10 no Fluxograma 0 (2º caso de estudo)

1. No primeiro ponto de decisão é feita a escolha, tendo em conta que a peça não respeita no critério 1 (Cr1) o primeiro pressuposto e o terceiro.
2. No segundo ponto de decisão, como referido, a peça destina-se a produção em larga escala.

Passando para o **Fluxograma 1** (Figura 4-30).

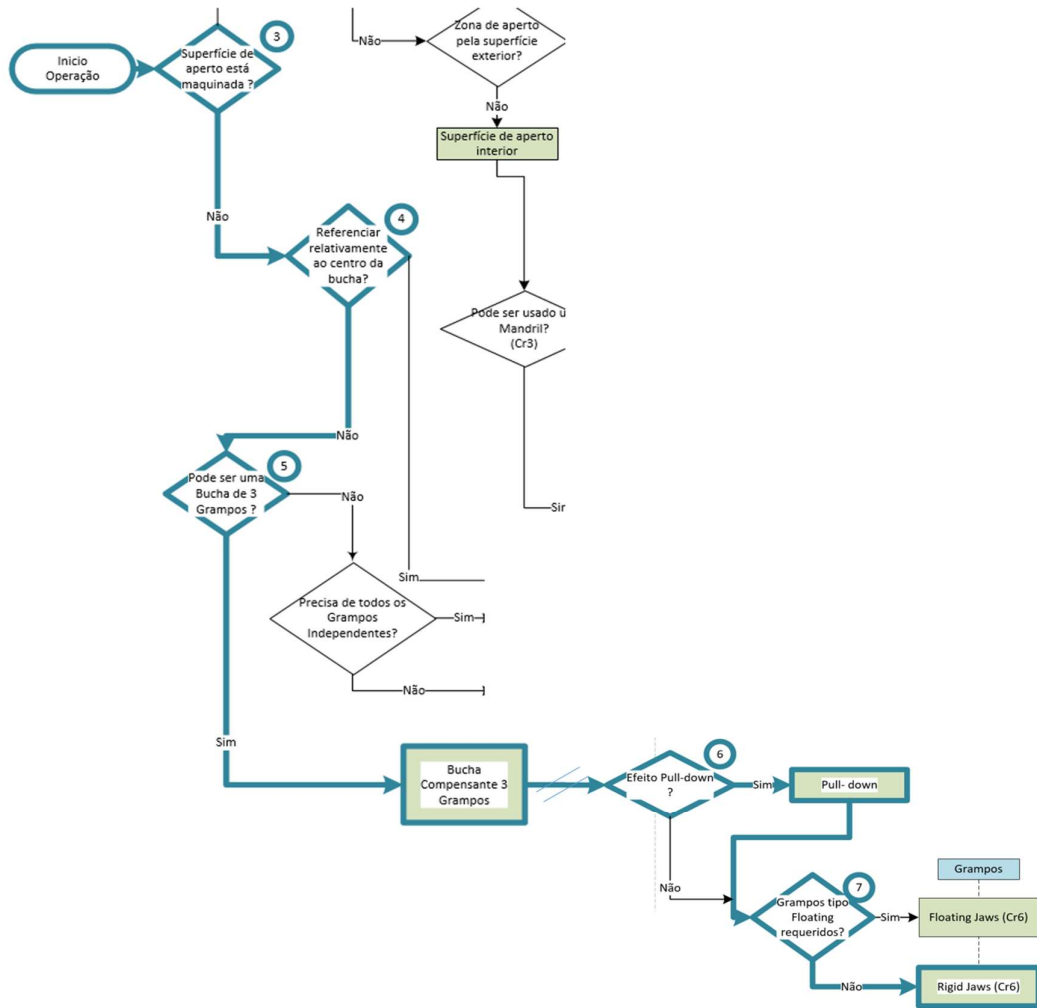


Figura 4-30 Caminho escolhido para a OP10 no Fluxograma 1(2º caso de estudo)

3. Iniciando no Fluxograma 1 e tendo em conta que o diâmetro interior da peça foi escolhido como superfície de aperto, devido ao diâmetro exterior ter uma superfície com irregularidades, tornando o aperto do mesmo difícil, sabendo ainda que a peça veio de fundição, não existe superfície maquinada para suportar da peça.
4. Apesar da geometria da secção transversal da peça ser circular, não se opta por uma bucha centrante, mas sim por uma compensante com um elemento (tipo pino cónico) que localize a peça, pois a esta contém um diâmetro (*datum* B) que, posteriormente, terá uma tolerância dependente de outros *datums* (Figura 4-31).

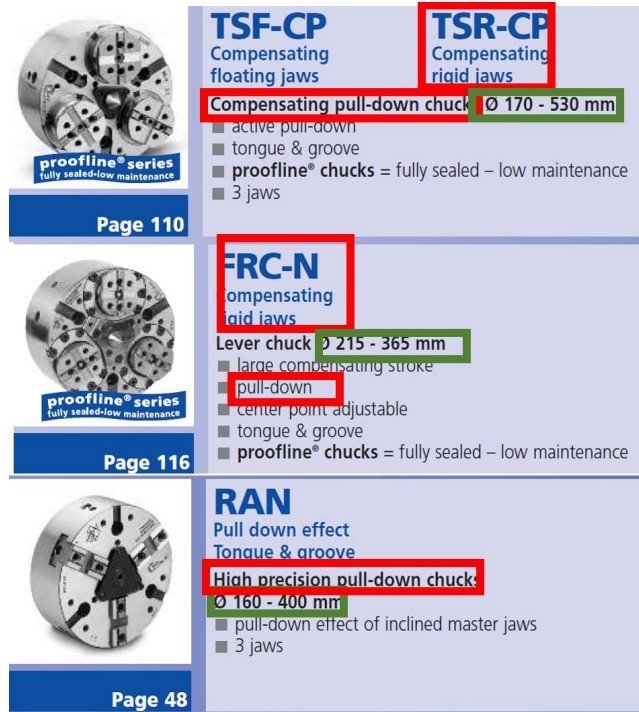


Figura 4-32 Tipo de bucha possíveis para a OP10 do catálogo da SMW

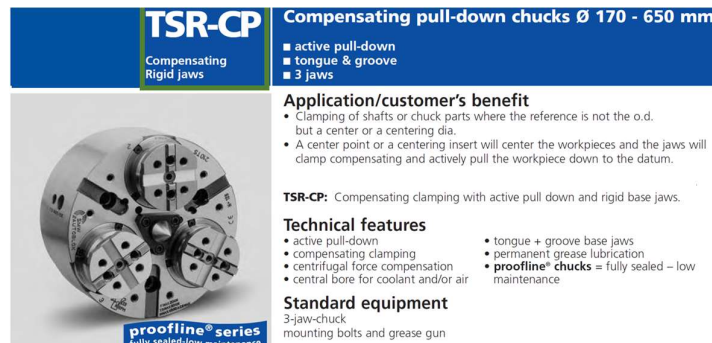


Figura 4-33 Bucha escolhida para a OP10 pertencente ao catálogo SMW [18]

4.2.2.2 Operação 20

Fazendo uma nova análise do desenho é estabelecida uma nova zona de aperto e respetivas zonas de trabalho.

As superfícies de referência serão o *datum* D, face de encosto, *datum* F-E dois furos realizados na operação anterior (OP10) e como superfície de aperto o diâmetro exterior da peça (Figura 4-34 e Figura 4-36).

Foram escolhidos os dois furos por serem elementos relevantes de acordo com as tolerâncias de posição dos furos a realizar na face do *datum* G (Figura 4-35).

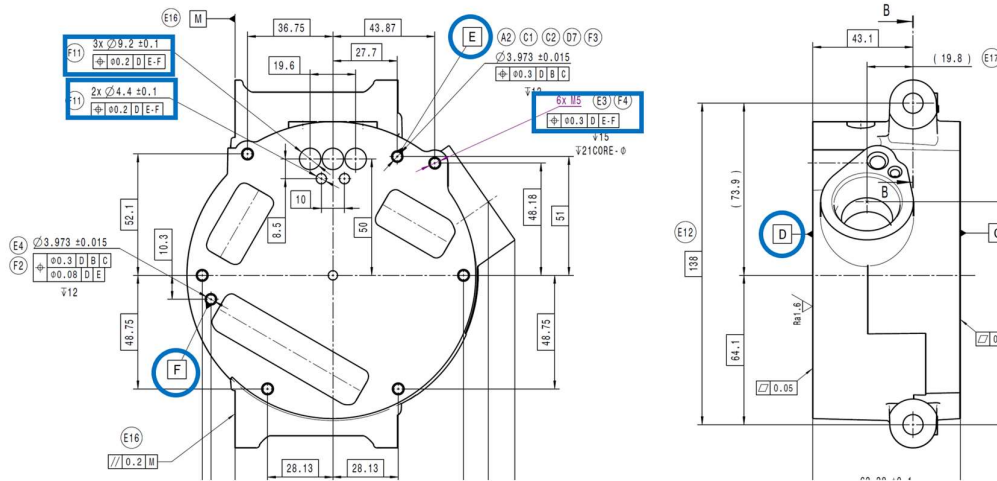


Figura 4-34 Seleção das superfícies de referência (2º caso de estudo OP20)

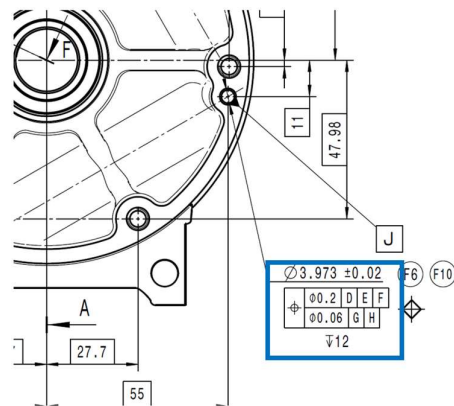


Figura 4-35 Datum G com furos com tolerâncias de posição dependentes da face de encosto (datum D) e dos furos (datum E-F)

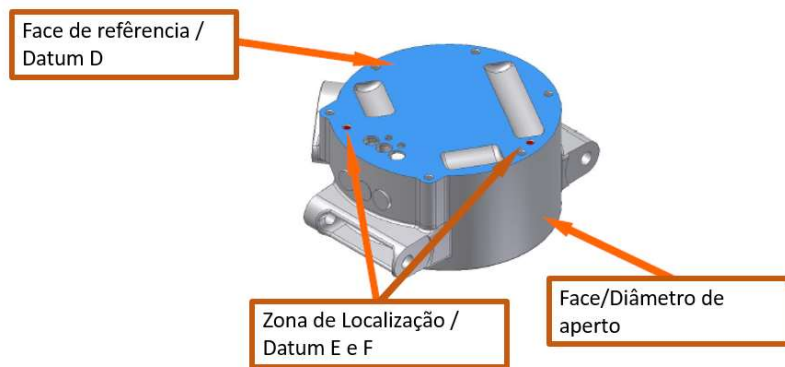


Figura 4-36 Faces de referência da OP20 (2º caso de estudo)

Com esta informação são definidas as restantes superfícies a maquinar. Como mostrado na Figura 4-37, a cor cinzenta representa a peça que não será maquinada e a vermelho as superfícies a torneiar.

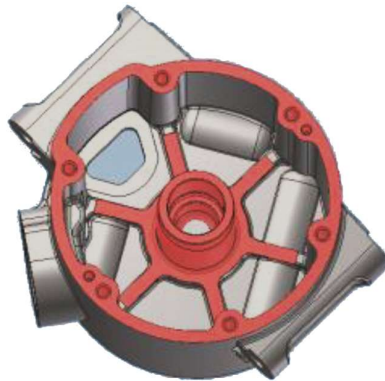


Figura 4-37 Superfícies a torneiar na OP20 (2º caso de estudo)

É usada agora a metodologia para o segundo aperto, de modo a realizar a OP20.

Fluxograma de Apoio à Decisão para a OP20 (2º caso de estudo)

O uso da metodologia tem início no **Fluxograma 0** (Figura 4-38).

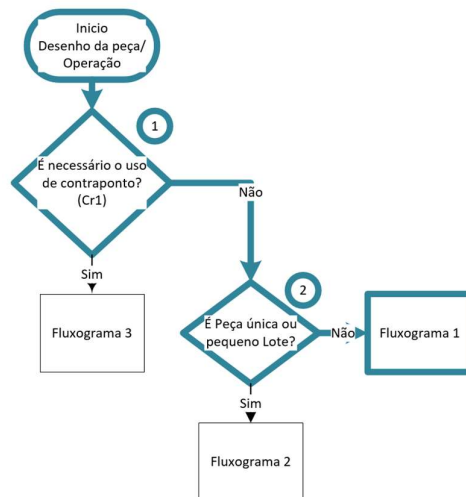


Figura 4-38 Caminho escolhido para a OP20 no Fluxograma 0 (2º caso de estudo)

1. No primeiro ponto de decisão é feita a escolha tendo em conta que a peça não respeita no critério 1 (Cr1) o primeiro pressuposto e o terceiro.
2. No segundo ponto de decisão, como referido, a peça destina-se a produção em larga escala.

Passando para o **Fluxograma 1** (ver Figura 4-39).

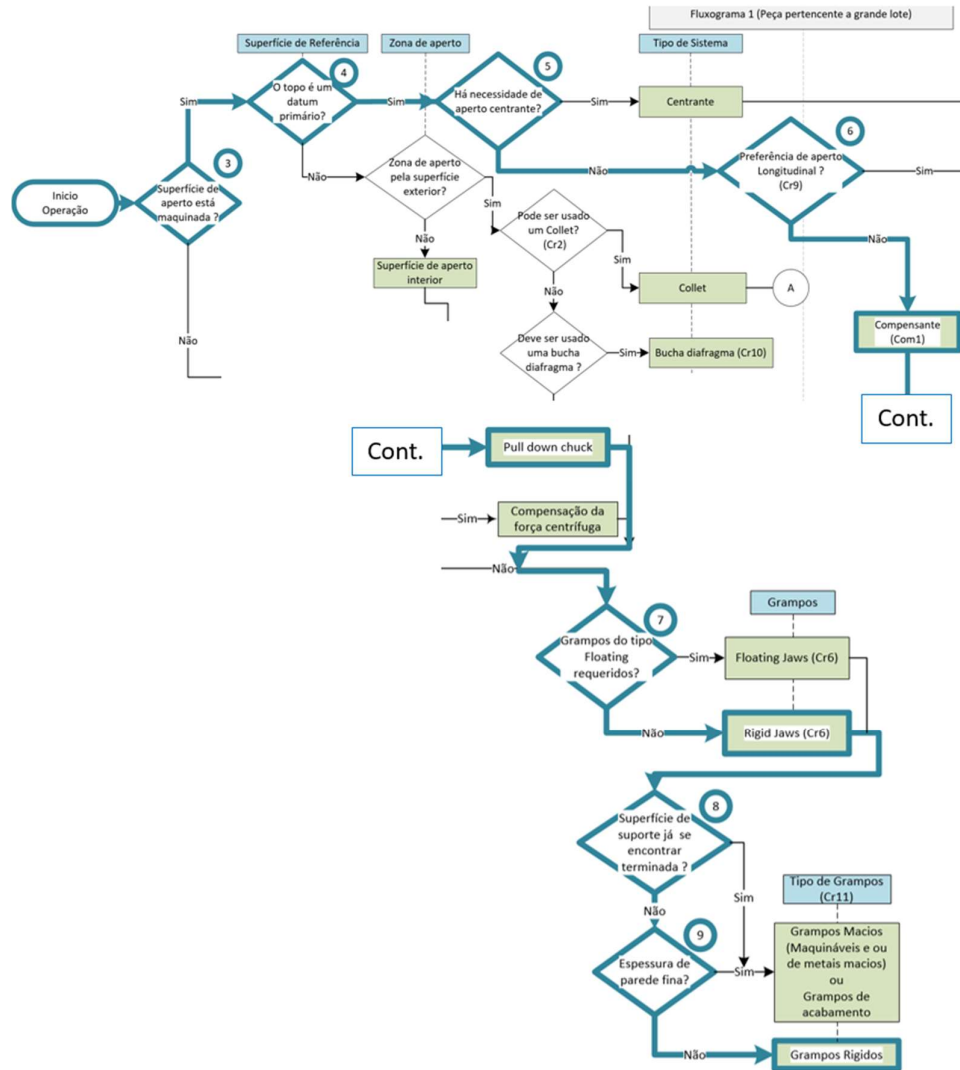


Figura 4-39 Caminho escolhido para a OP20 no Fluxograma 1 (2º caso de estudo)

3. Após a OP10, existem superfícies maquinadas que são de referência, como mostrado na Figura 4-35.
4. O *datum* D é o topo da peça e é uma face de referência primária da peça.
5. A peça recorre ao *datum* E-F como elemento de localização da peça, não sendo por isso preciso de uma bucha centrante.
6. Tendo em conta os tipos de operação serem compostos por facejamento e torneamento interior, não será possível ter um aperto longitudinal.

7. Tendo em conta que a peça apresenta uma rugosidade superficial não muito elevada e uma superfície que permite uma boa área de aperto, opta-se por um conjunto de grampos do tipo *rigid jaws*. Isto traduz-se numa redução do custo da bucha e permite alcançar as tolerâncias do projeto.
8. Sendo a superfície de aperto o *datum B* que provém de fundição não é necessário ter preocupações com possíveis indentações provocadas pelos grampos na peça.
9. Sendo a espessura das paredes considerada fina (4.775mm) mas não serão consideradas como tal, uma vez que peça será apertada junto á base (*datum B*), não criando elevado risco de deformação.

Concluiu-se assim o fluxograma 1, que dá por terminado o apoio à seleção do sistema de aperto para a OP20. O que resultado é uma bucha compensante, com efeito *pull-down*, com grampos do tipo *rigid jaws* de material rígido.

Com esta informação e sabendo as dimensões da peça, recorre-se ao catálogo de um fabricante, por exemplo, SMW-AUTOBLOK [18].

Com a Figura 4-40 podem observar-se três opções resultantes da escolha da bucha dada pela metodologia. Tendo em conta que a peça tem um diâmetro de 125.55 mm, pode ser excluída a bucha FRC-N, que tem uma gama de diâmetros superior à pretendida.

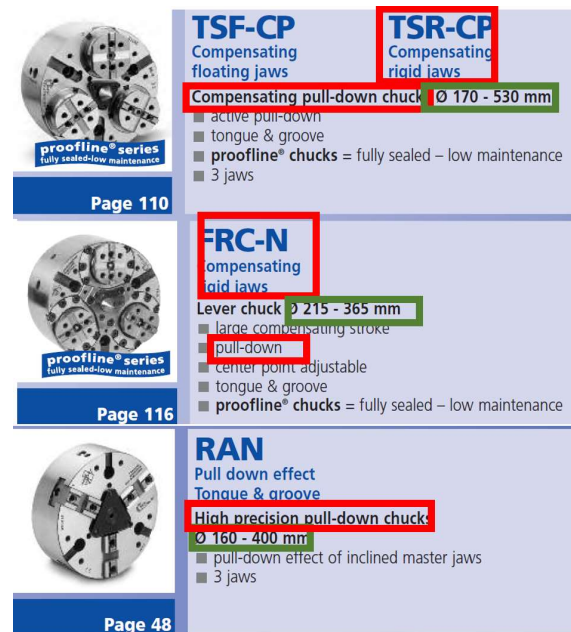


Figura 4-40 Tipo de buchas possíveis para a OP20 do catálogo da SMW

A escolha entre estas duas terá de ser feita com a ajuda de mais informação por parte do fabricante, visto que na bucha RAN não vem especificada a sua capacidade de ser compensante (Figura 4-41).

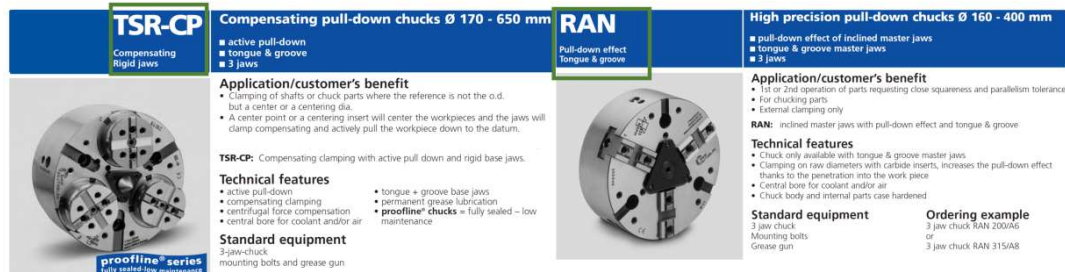


Figura 4-41 Buchas escolhidas para a OP20 pertencente ao catálogo SMW[40]

4.2.3 3º Caso de Estudo

Como primeiro passo, são analisados os requisitos de projeto e os respetivos desenhos (Figura 4-42 e Figura 4-43). A partir dessa análise, é estruturada uma sequência de operações e número mínimo de apertos possíveis para realizar a mesma.

Como apresentado na Figura 4-43 e tendo em conta a geometria da peça, o número mínimo de apertos será dois. Existe, contudo, um possível problema devido às tolerâncias exigidas no projeto.

Existem eixos dependentes de zonas de aperto diferentes, como o *datum A* e o *datum B* que têm tolerâncias de coaxialidade apertadas (0.008 mm), bem como tolerâncias de movimento circular, movimento total relativamente às faces dos mesmos *datums* e tolerâncias de circularidade de 0.005 mm. Estes fatores poderão não ser atingidos com as primeiras OP e assim exigindo assim um torneamento entre pontos ou uma operação de retificação de perfil.

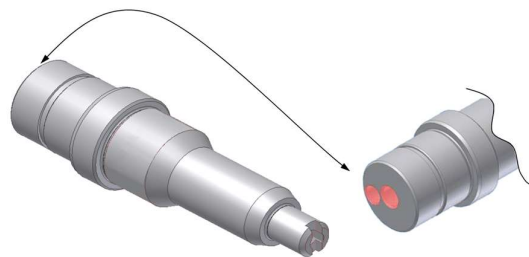


Figura 4-42 3º Caso de Estudo

Para o torneamento desta peça, que não provém de forjamento, usa-se um varão de comprimento 87 mm e de diâmetro 26 mm.

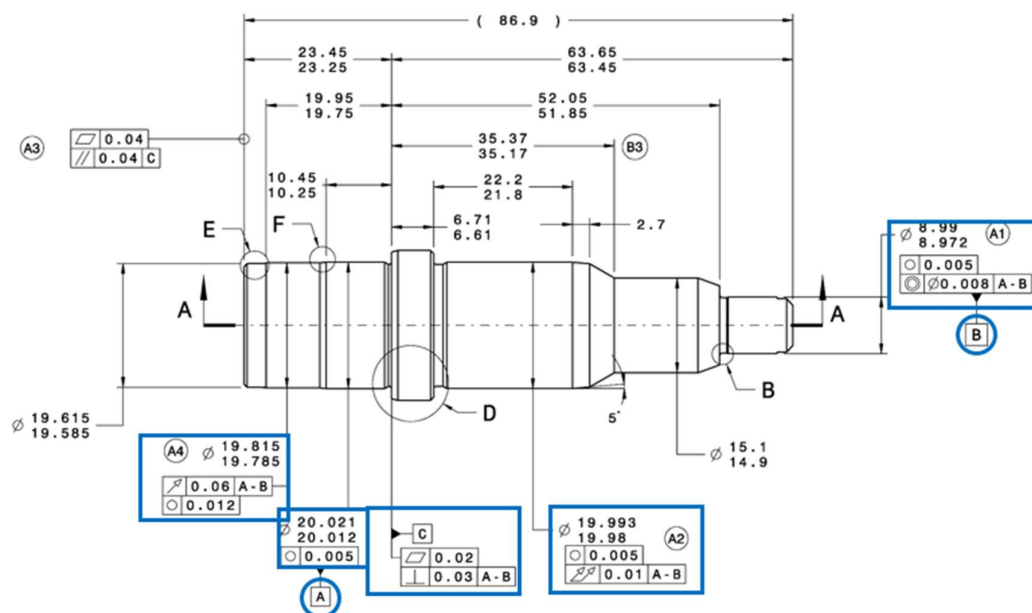


Figura 4-43 Desenho referente ao 3º caso de estudo e tolerâncias associadas

O número de peças a produzir enquadra-se em grandes séries, uma vez que se trata de uma peça já testada que será inserida numa linha de produção para a indústria automóvel.

4.2.3.1 Operação 10

Como primeira operação será apertada a peça como ilustrado na Figura 4-44.

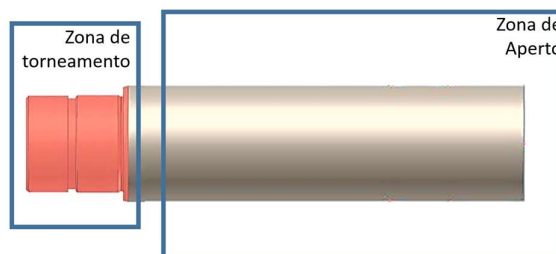


Figura 4-44 Zona de aperto e de torneamento para a OP10 (3º caso de estudo)

Fluxogramas de Apoio à Decisão para a OP10 (3º caso de estudo)

O uso da metodologia tem início no **Fluxograma 0** (Figura 4-45).

1. Apesar de a peça respeitar todos os pontos do critério 1, não será tida com uma primeira escolha, pois o número de apertos para realizar a peça teria de ser maior que dois, para finalizar ambos os topos da peça. Caso a solução encontrada não permita realizar a peça com as especificações pretendidas, deverá ser tida em conta

esta hipótese para uma possível operação de retificação de perfil, dado que as tolerâncias de concentricidade são muito apertadas.

2. Sendo esta peça pertencente ao desenho de conjunto do 1º Caso de estudo e do 2º Caso de estudo terá a mesma dimensão de produção das restantes.

Passando para o Fluxograma 1 (Figura 4-46 e Figura 4-47).

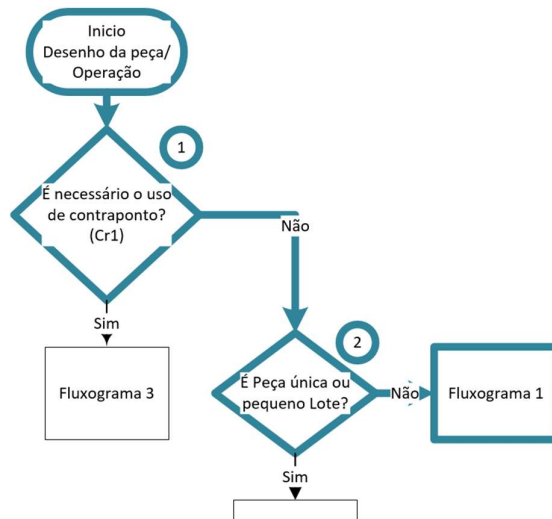


Figura 4-45 Caminho escolhido para a OP10 no Fluxograma 0 (3º caso de estudo)

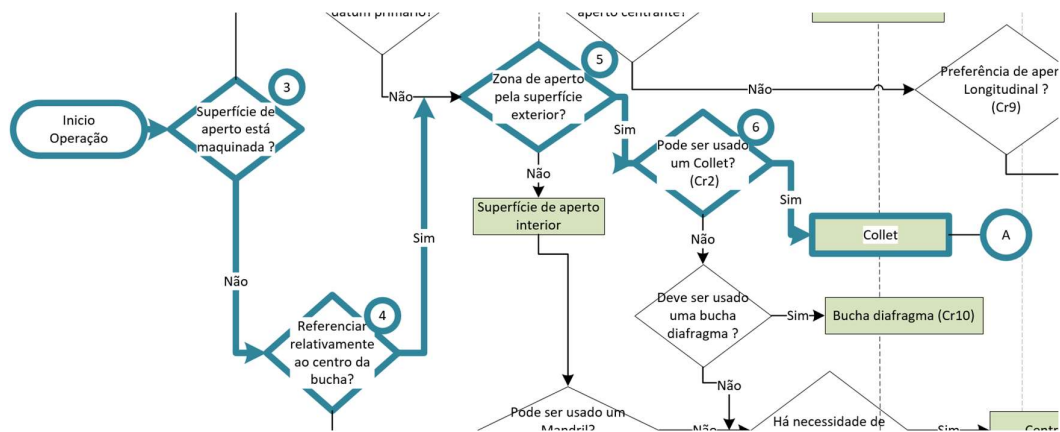


Figura 4-46 Caminho escolhido para a OP10 no Fluxograma 1 (3º caso de estudo) (cont.)

3. Iniciando o Fluxograma 1 e tendo em conta que o bruto é um varão, não existe superfície maquinada para suportar da peça.
4. Sendo a peça final um veio (3º caso de estudo), é relevante centrar a peça.
5. O veio só permite aperto exterior nesta fase.
6. Como decisão verifica-se que a peça obedece a todos os pontos do Cr2.

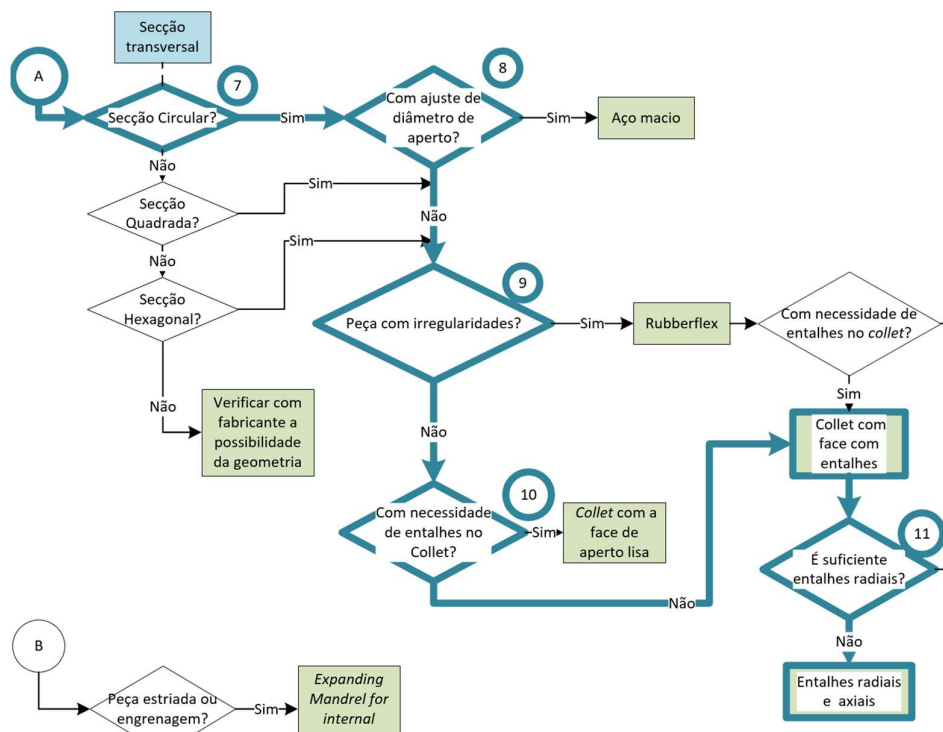


Figura 4-47 Caminho escolhido para a OP10 no Fluxograma 1 (3º caso de estudo)

7. A secção do bruto e da peça final é circular.
8. O bruto terá um diâmetro que se enquadra na gama das soluções apresentadas nos catálogos.
9. Apesar de o bruto conter irregularidades, as mesmas não são de dimensões que justifique optar por essa decisão.
10. Para permitir um melhor aperto da peça, e sendo a peça um bruto, não é problemático causar indentações que possam danificar a superfície de aperto da peça.
11. Para permitir o torneamento da peça e o furo do topo da mesma, é aconselhável o uso de entalhes radiais e axiais.

Concluiu-se o Fluxograma 1 que dá por terminado o apoio à seleção do sistema de aperto para a OP10. O resultado é um Collet com secção de aperto circular e entalhes preferencialmente radiais e axiais.

Com esta informação e dimensões da peça é consultando o catálogo de um fabricante, por exemplo, SMW-AUTOBLOK [18].

Na Figura 4-48 podem ser observadas três opções resultantes da escolha com a informação retirada da metodologia no catálogo SMW. Desta, qualquer opção será válida dependendo do número de máquinas a operar e constrangimentos económicos para a escolha do *Collet*.

A título de exemplo, e assumindo que só existe uma máquina para realizar a OP10 e OP20, deve optar-se por uma bucha com troca rápida de *Collet (Draw)*. Sendo o varão em bruto de dimensões próximas do final, o encosto da peça na base do *Collet (workstop)* será relevante (Consultar Anexo 2 Informação Adicional Sobre Collets do Catálogo SMW [18].)

Sendo a opção escolhida KSZ-AZ com *Steel collets* com entalhes radiais e axiais e diâmetro 26 mm.



Figura 4-48 Tipo de Collets possíveis para a OP10 do catálogo SMW

4.2.3.2 Operação 20

Como segunda operação será apertada a peça como ilustrado na Figura 4-49.

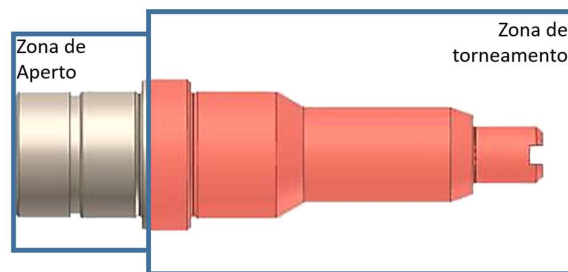


Figura 4-49 Zona de aperto e de torneamento para a OP20 (3º caso de estudo)

Em que o *datum C* serve de referência para o encosto, o *datum A* como zona de aperto e o furo assinalado na Figura 4-50 com diâmetro 5.99 mm é usado como localizador do veio.

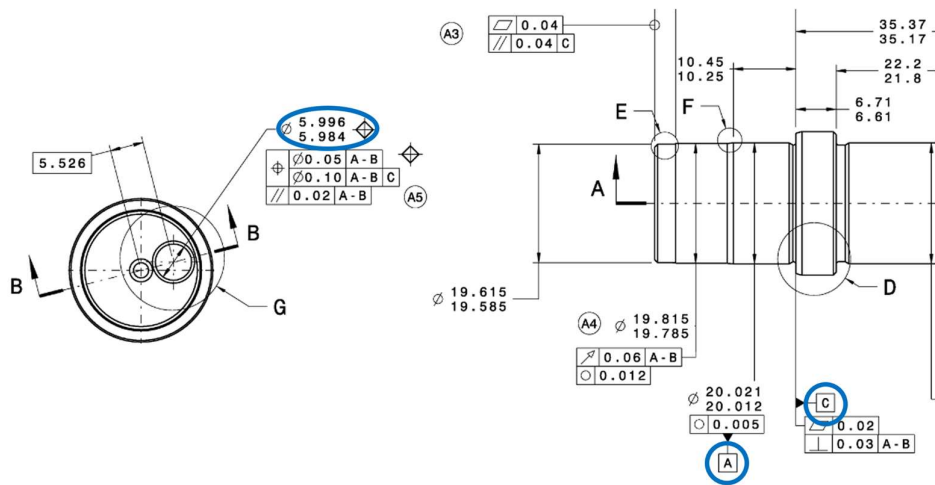


Figura 4-50 Referências para o aperto da peça na OP20 (3º Caso de Estudo)

Fluxogramas de Apoio à Decisão para a OP20 (3º Caso de Estudo)

Fazendo uma nova análise do desenho após as operações realizadas na OP10, consulta-se novamente a metodologia (Figura 4-51).

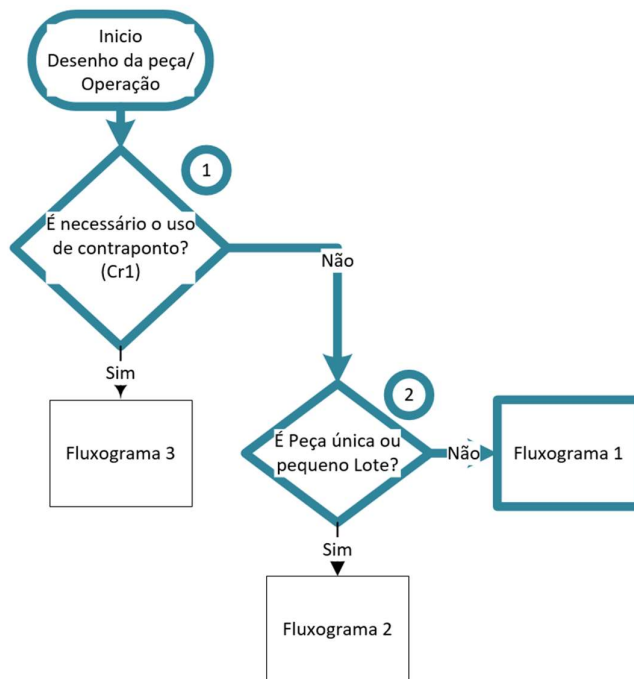


Figura 4-51 Caminho escolhido para a OP20 no fluxograma 0 (3º caso de estudo)

1. Apesar de a peça respeitar todos os pontos do critério 1, não será tida com uma primeira escolha, pois o número de apertos para realizar a peça teria de ser maior que dois, para finalizar ambos os topos da peça. Além disso, uma vez que foi

escolhido não realizar a peça com torneamento com contraponto no primeiro aperto (OP10) não será pertinente fazê-lo na OP20.

2. Sendo esta peça pertencente ao desenho de conjunto do 1º Caso de estudo e do 2º Caso de estudo, terá a mesma dimensão de produção das restantes.

Passando para o Fluxograma 1 (Figura 4-52 e Figura 4-53).

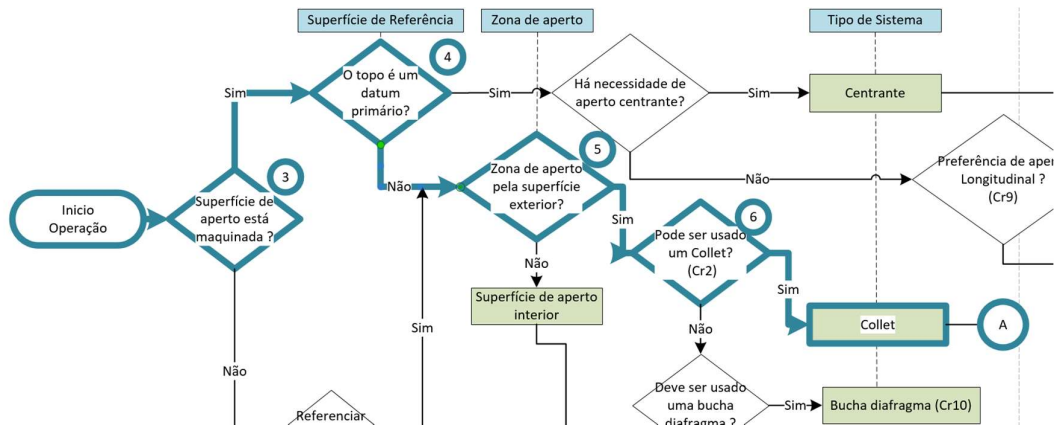


Figura 4-52 Caminho escolhido para a OP20 no Fluxograma1, 3º caso de estudo, (cont.)

3. Iniciando o Fluxograma 1 e tendo em conta que a peça já foi torneada na OP10, existe uma superfície maquinada para suportar da peça.
4. Sendo a peça um veio, o eixo é o *datum* primário.
5. O veio só permite aperto exterior nesta fase.
6. Como decisão, verifica-se que a peça obedece a todos os pontos do Cr2.
7. A secção do bruto, bem como da peça final, é circular e a superfície de suporte será uma face já acabada.
8. A peça tem um diâmetro que se enquadra na gama das soluções apresentadas nos catálogos.
9. Como a zona de aperto já foi previamente maquinada na OP10, a peça encontra-se com um bom acabamento superficial.
10. Para evitar indentações na peça que estragariam o seu acabamento, não são usados entalhes no *Collet*.

Concluiu-se o Fluxograma 1 que dá por terminado o apoio à seleção do sistema de aperto para a OP20. O resultado é um Collet com secção de aperto circular liso (sem entalhes).

Com esta informação e dimensões da peça é consultando o catálogo de um fabricante, por exemplo, SMW-AUTOBLOK [18].

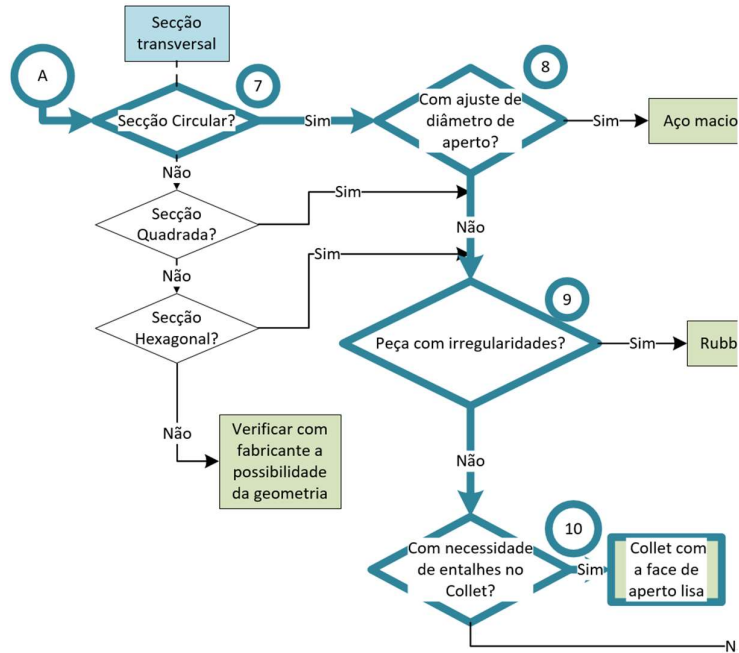


Figura 4-53 Caminho escolhido para a OP20 no fluxograma1 (3º caso de estudo)

Com a Figura 4-54 podem observar-se três opções resultantes da escolha no catálogo a partir das informações fornecidas pela metodologia. Destas, qualquer opção será válida dependendo do número de máquinas a operar e constrangimentos económicos para a escolha do *Collet*.

A título de exemplo, e assumindo que só existe uma máquina para realizar a OP10 e OP20, deve optar-se por uma bucha com troca rápida de *Collet (Draw)*. Sendo a última operação poderá ser útil o encosto da peça no *Collet* (Consultar Anexo 2 Informação Adicional Sobre Collets do Catálogo SMW [18]).

Sendo a opção escolhida KSZ-NZ com *Steel collets* com superfície lisa e diâmetro 26 mm.



Figura 4-54 Tipo de Collets possíveis para a OP10 do catálogo SMW

4.2.4 4º Caso de Estudo

Como 4º caso de estudo será usado um veio de uma caixa de velocidades para uma empresa de customização de automóveis (Figura 4-55).



Figura 4-55 4º Caso de estudo

Analisando os desenhos representados na Figura 4-56 é estruturada uma estratégia de maquinação. Nesta análise é levado em consideração todas as tolerâncias apresentadas e a rugosidade apresentada (R_a^5) nas diferentes superfícies.

Nesta peça foi escolhido realizar o torneamento em um só aperto (OP10).

⁵ É o desvio aritmético do perfil avaliado (ISO 4287)

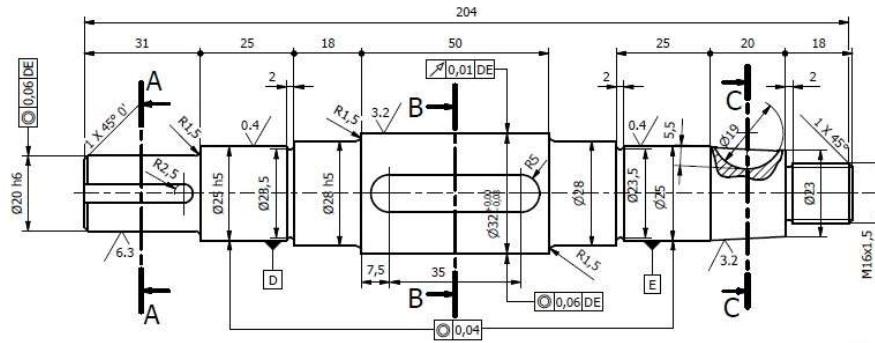


Figura 4-56 Desenho do 4º caso de estudo

4.2.4.1 Operação 10

Aplicando a metodologia consulta-se o Fluxograma 0 (Figura 4-57).

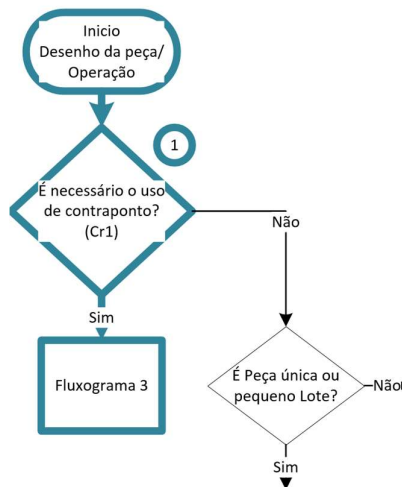


Figura 4-57 Caminho escolhido para a OP10 no Fluxograma 0 (4º caso de estudo)

1. Esta peça respeita todos os pontos do critério 1, de modo que se enquadra no tipo de torneamento com contraponto.

Passando para o Fluxograma 3 (Figura 4-58).

2. É preferencial o uso de uma montagem não híbrida, pois todo o veio irá sofrer intervenções de torneamento, de modo que uma bucha iria impedir tal operação ou requerer um bruto de maiores dimensões e aumentar o desperdício de matéria-prima.
3. Com referido na decisão 2. não será benéfico o uso de nenhum elemento que impeça o total torneamento da superfície do diâmetro externo e, como tal, não se optará por um sistema com *Lathe Dog*.

Concluiu-se o Fluxograma 3 que dá por terminado o apoio à seleção do sistema de aperto do 4º Caso de Estudo na OP10. O resultado é um torneamento entre pontos com um ponto de arrasto e um ponto móvel (Figura 4-59).

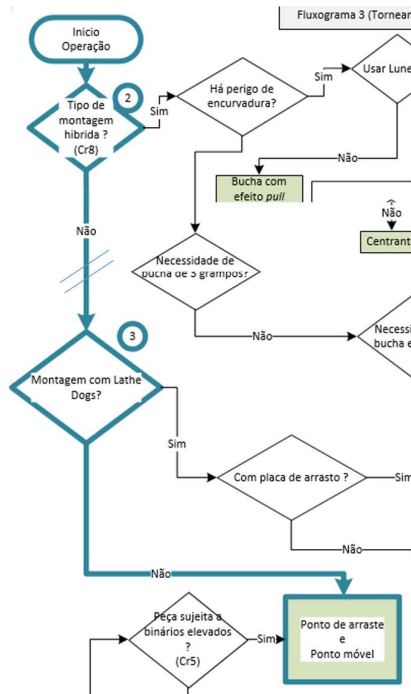


Figura 4-58 Caminho escolhido para a OP10 no Fluxograma 3 (4º caso de estudo)



Figura 4-59 Esquema da opção escolhida como solução da OP10 (4º caso de estudo)

4.2.5 5º Caso de estudo peça única

Como primeiro passo e de forma idêntica ao 1º Caso de estudo, são analisados os requisitos de projeto e os respetivos desenhos (Figura 4-60). A partir dessa análise é estruturada uma sequência de operações.

Para cada operação, recorre-se aos fluxogramas, de modo a procurar uma solução adequada ao nosso problema.

No presente estudo conclui-se que, para realizar a peça, será necessário o torneamento em duas operações.

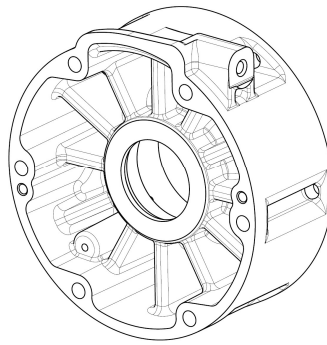


Figura 4-60 5º Caso de estudo

4.2.5.1 Operação 10

Nesta fase da análise referencia-se a peça igualmente ao 1º Caso de estudo para a OP10.

Fluxogramas de Apoio à Decisão para a OP10

O uso da metodologia tem início no **Fluxograma 0** (Figura 4-61).

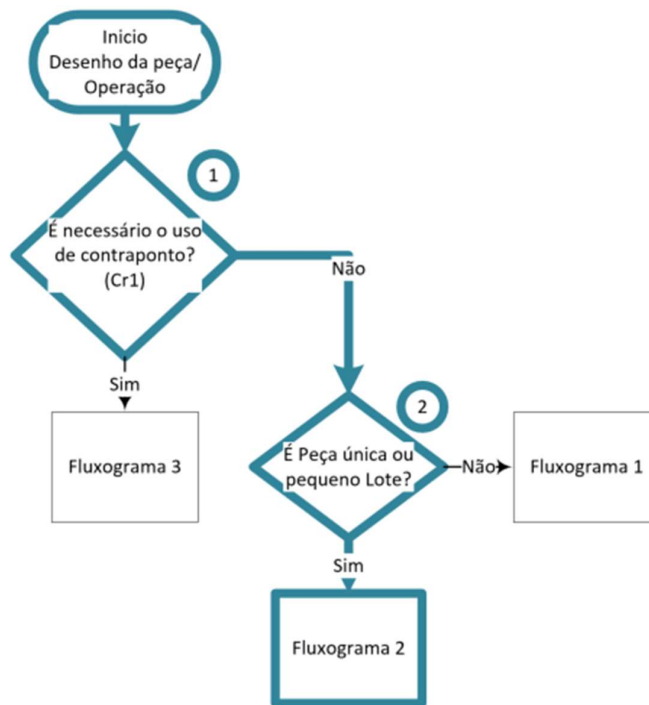


Figura 4-61 Caminho escolhido para a OP10 no Fluxograma 0 (5º caso de estudo)

1. No primeiro ponto de decisão é feita a escolha, tendo em conta que a peça não respeita no critério 1 (Cr1) o primeiro pressuposto e o terceiro.
2. No segundo ponto de decisão, como referido acima, a peça é um elemento único.

Passando para o **Fluxograma 2** (Figura 4-62).

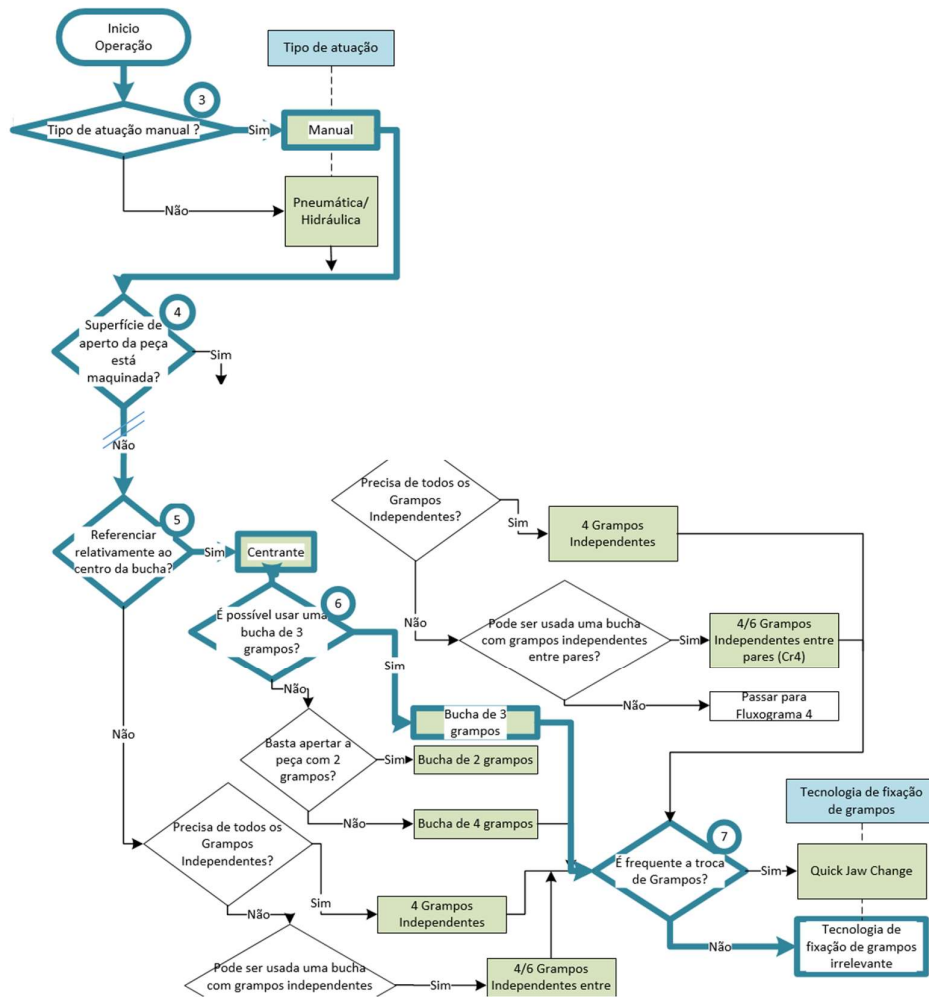


Figura 4-62 Caminho escolhido para a OP10 no Fluxograma 2 (5º caso de estudo)

3. Iniciando no Fluxograma 2, a tendo em conta que é uma peça única e supondo que o tipo de torno requer um sistema de aperto manual.
4. Tendo em conta que o *datum* B foi escolhido como superfície de aperto da peça, e sabendo que a peça veio de fundição, não existe superfície maquinada para suportar da peça.
5. Devido à geometria da secção transversal da peça ser circular, com diferentes diâmetros concêntricos a serem maquinados (Figura 4-11) opta-se por uma **bucha centrante**.
6. Tendo em conta que a face de aperto da peça é cilíndrica poderá ser usada uma bucha de três grampos.

7. Pode assumir-se que a bucha escolhida não é utilizada recorrentemente para outras peças que obriguem a uma troca frequente de grampos, portanto a tecnologia de fixação dos grampos é irrelevante.

Concluiu-se o Fluxograma 2, que dá por terminado o apoio à seleção do sistema de aperto para a OP10. O resultado é uma bucha manual centrante de 3 grampos.

Com esta informação e sabendo as dimensões da peça, recorre-se ao catálogo de um fabricante, por exemplo, SMW-AUTOBLOK [18].

Com a Figura 4-63 podem observar-se duas opções resultantes da escolha da bucha dada pela metodologia. Tendo em conta que a única diferença entre ambas será o tipo de grampos suportados na bucha, será escolhida mediante os grampos existentes em fábrica.



Figura 4-63 Tipo de buchas possíveis para a OP10 do catálogo da SMW

4.2.5.2 Operação 20

Nesta fase da análise referencia-se a peça igualmente ao 1º Caso de estudo para a OP20.

Fluxogramas de Apoio à Decisão para a OP20

O uso dos fluxogramas tem início no **Fluxograma 0** (Figura 4-64).

1. No primeiro ponto de decisão é feita a escolha, tendo em conta que a peça não respeita no critério 1 (Cr1) o primeiro pressuposto e o terceiro.
2. No segundo ponto de decisão, como referido acima, a peça é um elemento único.

Passando para o **Fluxograma 2** (Figura 4-65).

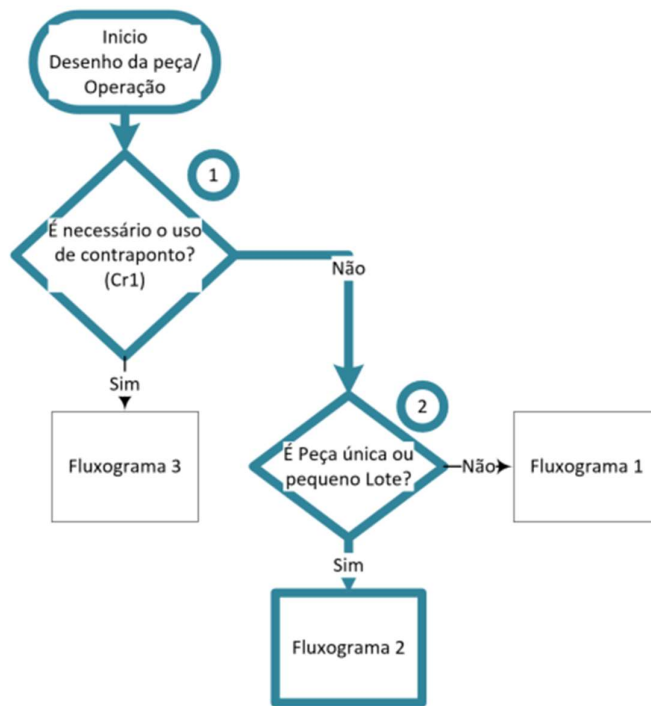


Figura 4-64 Caminho escolhido para a OP20 no Fluxograma 0 (5º caso de estudo)

3. Iniciando no Fluxograma 2, a tendo em conta que é uma peça única e supondo que o tipo de torno requer um sistema de aperto manual.
4. Após a OP10 existem superfícies maquinadas que são de referência.
5. Tendo em conta que será uma peça única é assumido que existem constrangimentos monetários.
6. O *datum* E é uma face de referência que centrará a peça, não sendo por isso compatível com uma bucha centrante.
7. Sendo a operação composta por facejamento e torneamento interior, não será possível ter um aperto longitudinal.
8. Sendo a peça centrada a partir de um elemento de localização a bucha terá de ter grampos independentes.
9. Pode assumir-se que a bucha escolhida não é utilizada recorrentemente para outras peças que obriguem a uma troca frequente de grampos portanto a tecnologia de fixação dos grampos é irrelevante.

Concluiu-se o Fluxograma 2, que dá por terminado o apoio à decisão da seleção do sistema de aperto para a OP20. O resultado é uma bucha de quatro grampos independentes, de atuação manual.

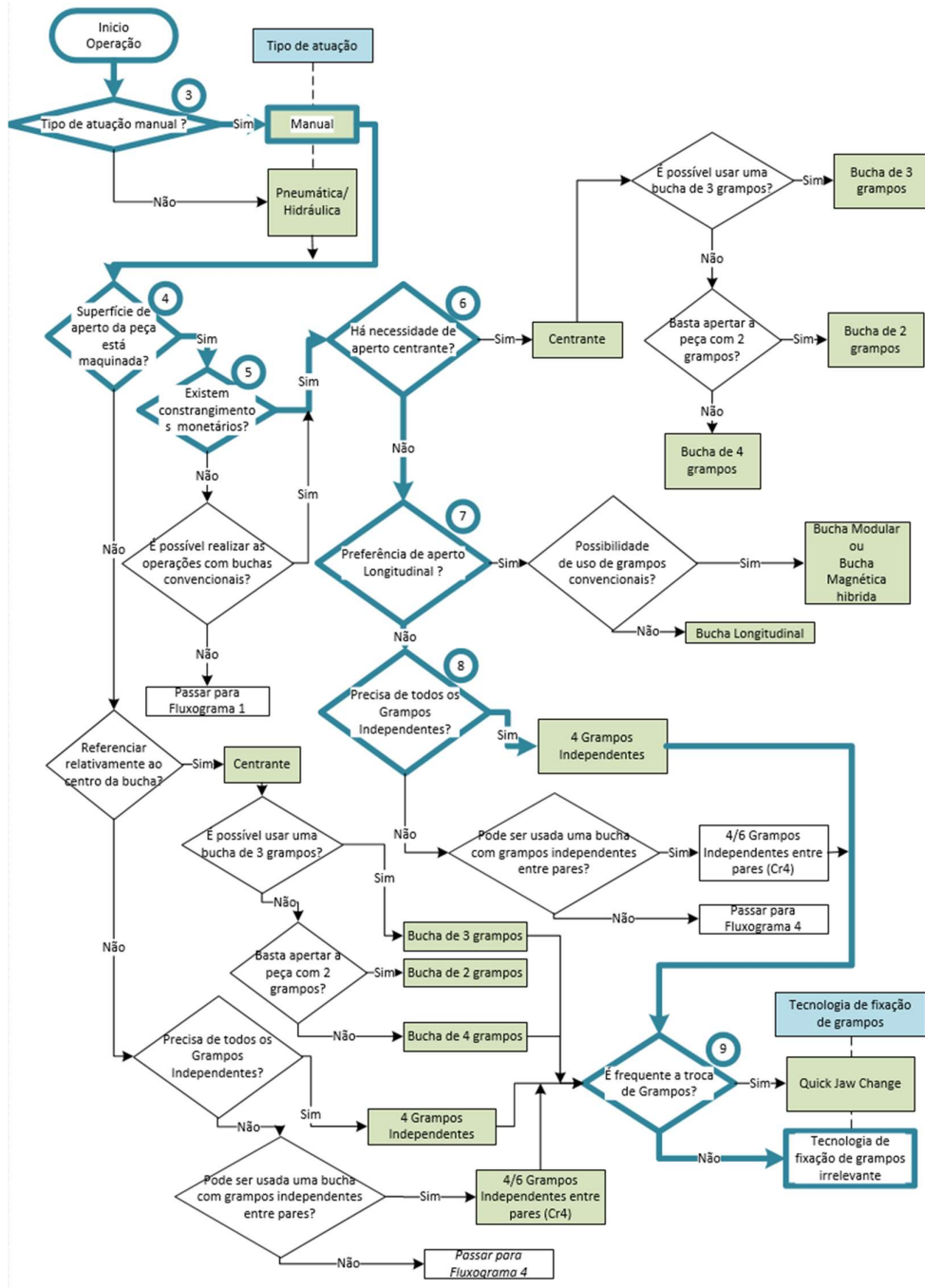


Figura 4-65 Caminho escolhido para a OP20 no Fluxograma 2 (5º caso de estudo)

Com esta informação e sabendo as dimensões da peça, recorre-se ao catálogo de um fabricante, por exemplo, Toolmex [30].

Com a Figura 4-66 pode observar-se uma opção resultante da escolha da bucha dada pela metodologia, tendo em conta que a peça tem um diâmetro de 123mm e assumindo que o torno tem instalado um sistema *Type A*.

4-Jaw Semi-Steel Body, Type A1/A2 Direct Mount with Hard Solid Jaws

- Type A1 spindle has a 2 bolt hole pattern, inside and outside the taper
Either an A1 or A2 chuck will fit
- Type A2 spindle has a 1 bolt pattern outside the taper
Only an A2 chuck will fit



Figura 4-66 Tipo de buchas possível para a OP20 do catálogo Toolmex (5º caso de estudo)

5

Conclusão

Sendo as peças mecânicas produzidas a partir de desenhos de fabrico, esta dissertação constatou a importância do conhecimento de tolerâncias e, em particular, as geométricas, de modo a interpretar e compreender todos os requisitos de projeto determinados pelo projetista.

O engenheiro responsável pela industrialização tem de garantir que as peças produzidas apresentam as características especificadas nos desenhos, recorrendo, entre outros, a elementos de fixação com diferentes características, para obtê-los. Porém, a satisfação destas tolerâncias é uma tarefa difícil, dado que corresponde a processos não determinísticos, de difícil modelação analítica.

No decorrer da dissertação agruparam-se e segmentaram-se os diferentes tipos de elementos de fixação, consoante as suas características e as das peças.

Propôs-se uma nova metodologia que tem como objetivo o apoio à seleção de sistemas de aperto giratórios em maquinação, para criar soluções de fixação de peças de modo expedito, que cumpram tolerâncias apertadas e requisitos de projeto complexos.

Com a utilização desta metodologia em diferentes casos de estudo, compararam-se os resultados obtidos e verificou-se que as soluções geradas pelo método desenvolvido são compatíveis com as apresentadas pela Hanon Systems e por diferentes fabricantes (estes sistemas não puderam ser apresentados por razões de confidencialidade).

- Do presente trabalho verificou-se que, apesar da enorme quantidade de dispositivos de fixação para sistemas giratórios, é possível agrupá-los e categorizá-los de modo a facilitar a escolha do elemento mais adequado ao processo.
- Verificou-se que esta metodologia é uma ferramenta para auxílio de problemas de seleção de sistemas de aperto giratórios contudo deve ser aplicado por técnicos qualificados. Contudo não é possível validá-lo, sem um maior número de casos de estudo distintos.

Trabalhos Futuros:

- Como principal objetivo para trabalhos futuros procurar-se-ia validar esta metodologia com a aplicação a um conjunto mais vasto e variado de casos, de modo a poder ser usada como um gerador de soluções confiável. Além disso, informatizá-lo num programa didático, que se traduza numa solução que tenha ligação com uma base de dados de todos os fabricantes destes sistemas, de modo a proporcionar uma lista de soluções equivalentes para compra de diferentes fabricantes;
- Seria importante continuar este projeto com a integração de outras metodologias já desenvolvidas – e a desenvolver - em dissertações relacionadas com a temática, como por exemplo a criação de uma metodologia de apoio à decisão para sistemas de fixação para operações de apoio fixo.

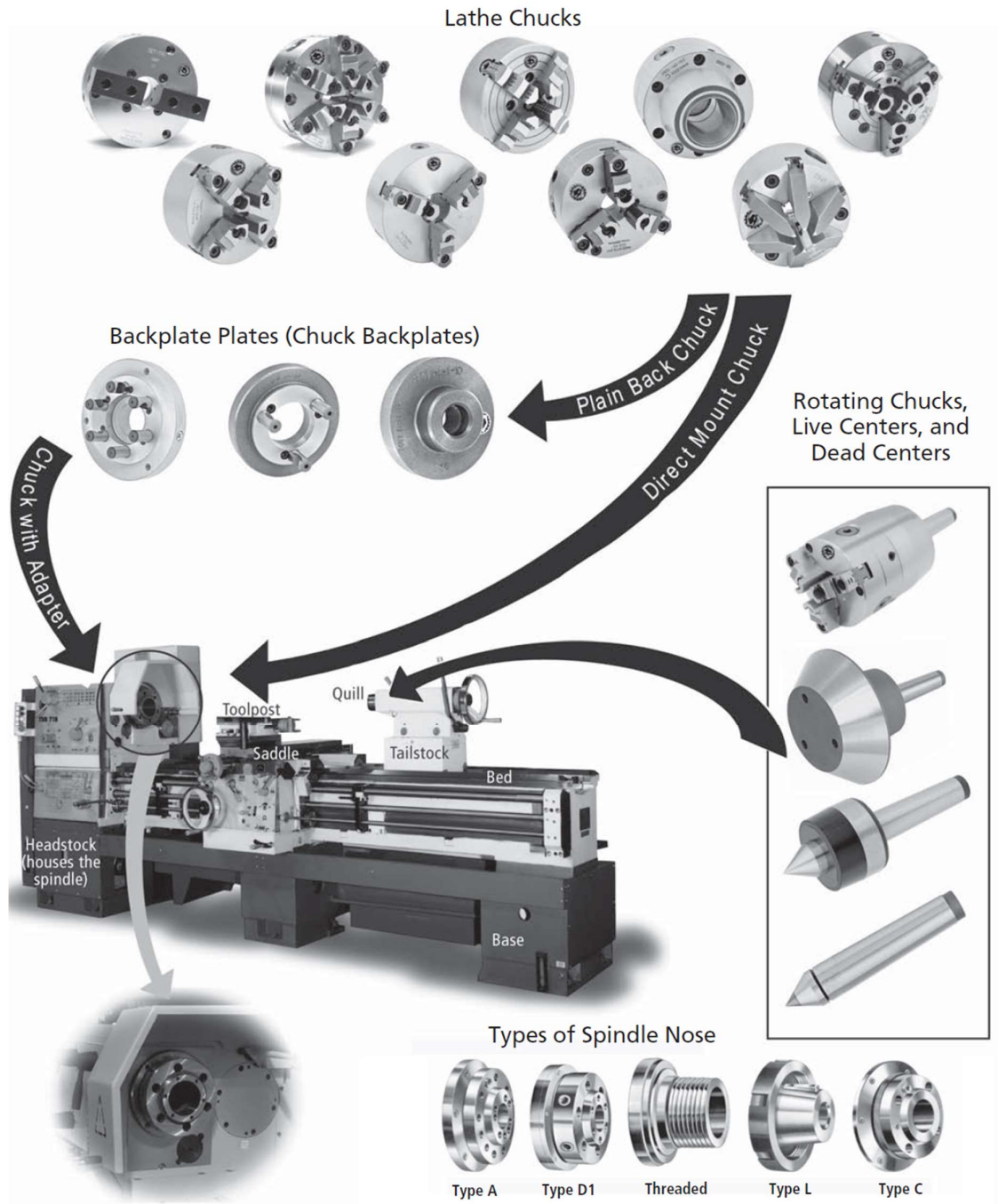
Bibliografia

- [1] “Creative Tool Design.” [Online]. Disponível: <http://www.carrlane.com/catalog/index.cfm/29625071F0B221118070C1C513906103E0B05543B0B012009083C3B2853514355482013180B041D1E173C3B2853524B5A58>. [Acedido: 03-Jul-2015].
- [2] F. I. Considerations, D. Jigs, F. Meaning, L. Principles, L. Different, M. Used, L. Clamping, D. Types, and C. Jigs, “Unit 4 Jigs and Fixtures,” pp. 47–59.
- [3] B. Signal, “A Review On Design Of Portable Ecg System,” vol. 2, no. 2, pp. 1262–1277, 2013.
- [4] “Locating and Clamping Principles.” [Online]. Disponível: <http://www.carrlane.com/catalog/index.cfm/29625071F0B221118070C1C513906103E0B05543B0B012009083C3B2853514059482013180B041D1E173C3B2853524B5A59>. [Acedido: 02-Jul-2015].
- [5] “CarrLane GENERAL INFORMATION.” [Online]. Disponível: <http://www.carrlane.com/catalog/index.cfm>. [Acedido: 02-Jul-2015].
- [6] N. Rao and Posinasetti, “Manufacturing Tooling.” [Online]. Disponível: http://www.uni.edu/~rao/Mfg_Tooling_-05_Work_holding-Locating.pdf. [Acedido: 10-Out-2015].
- [7] David T. Reid, *Fundamentals of tool design*, Third. Society of Manufacturing Engineers, 1991.
- [8] W. E. Boyes, “Handbook of Jig and Fixture Design,” *Society of Manufacturing Engineers*, 1989. [Online]. Disponível: https://books.google.pt/books?id=I-CqpuJT44wC&printsec=frontcover&hl=pt-PT&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false. [Acedido: 21-Jun-2015].
- [9] E. G. Hoffman, *Jig and Fixture Design*, Fifth Edit. 2004.
- [10] F. Handbook, “Introduction to workholding,” pp. 1–10, 2007.
- [11] “Kitagawa Northtech Catalog” [Online]. Disponível: <http://kitagawa.com/wp-content/uploads/Kitagawa-NC-Rotary-Catalog.pdf> [Acedido: 21-Jun-2015].
- [12] P. D. A. J. de Souza, “Processos de Fabricação por Usinagem.” [Online]. Disponível: https://chasqueweb.ufrgs.br/~ajsouza/ApostilaUsinagem_Parte2.pdf. [Acedido: 08-Nov-2015].
- [13] RÖHM, “Roehm.” [Online]. Disponível: <http://www.roehm.biz/en/>. [Acedido: 08-Nov-2015].
- [14] “Kitagawa_Chuck-Catalog_2013” [Online]. Disponível: http://kitagawa.com/wp-content/uploads/Chuck-Catalog_2013s.pdf [Acedido: 05-Nov-2015].
- [15] “Lathe Parts.” [Online]. Disponível: <http://www.lathes.co.uk/latheparts/>. [Acedido: 13-Jan-2016].
- [16] “Lathe Spindle Nose Mounting Systems.” [Online]. Disponível: http://www.tools-n-gizmos.com/specs/Lathe_Spindle_Mount.html. [Acedido: 10-Jan-2016].
- [17] “Zubehör für Drehmaschinen.” [Online]. Disponível: <http://www.drehfutter.eu/>. [Acedido: 14-Jan-2016].
- [18] SMW, “Smw-Autoblock.” p. 276, 2009.

- [19] “Forkardt.” [Online]. Disponível: <http://www.forkardt.com/us-us/products/diaphragm-chucks/na-woodworth-diaphragms/a/40/>. [Acedido: 22-Jun-2015].
- [20] “Getting a Grip on Diaphragm Chucks.” [Online]. Disponível: <http://www.gearsolutions.com/article/detail/5594/getting-a-grip-on-diaphragm-chucks>. [Acedido: 21-Jun-2015].
- [21] “Forkardt Woodworth Diaphragms.” [Online]. Disponível: http://www.forkardt.com/fileadmin/user_upload/Diaphragm_Flyer.pdf. [Acedido: 21-Jun-2015].
- [22] “Fuji Chuck.” [Online]. Disponível: <https://mt.fuji.co.jp/e/chuck/workclamp/>. [Acedido: 02-Jul-2015].
- [23] “ISO 19719:2010 (en).” 2010.
- [24] “MagVISE Electro-Permanent Magnetic Chucks.” [Online]. Disponível: <http://www.industrydepot.com/MagVISEElectroPermanentMagChucks.htm>. [Acedido: 24-Jun-2015].
- [25] “Campo magnético.” [Online]. Disponível: https://en.wikipedia.org/wiki/Electropermanent_magnet. [Acedido: 24-Jun-2015].
- [26] “Special Purpose Chucks.” [Online]. Disponível: <http://www.uew.co.uk/products-services/special-chucks>. [Acedido: 24-Jan-2016].
- [27] M. M. and M. Sullivan, “When to use a Collet Chuck.” [Online]. Disponível: <http://www.mmsonline.com/articles/when-to-use-a-collet-chuck>. [Acedido: 01-Jan-2015].
- [28] “Total Guide to Lathe Workholding.” [Online]. Disponível: <http://www.cnccookbook.com/MTLatheHolding.htm>. [Acedido: 21-Jan-2016].
- [29] “Le tournage.” [Online]. Disponível: <http://robert.cireddu.free.fr/Ressources/Prod/Ressources.html>. [Acedido: 15-Out-2015].
- [30] “Toolmex Industrial solutions.” p. 233, 2012.
- [31] “Steadyrest.” [Online]. Disponível: <http://www.vannattabros.com/shop20.html>. [Acedido: 08-Nov-2015].
- [32] “Luneta fixa e móvel.” [Online]. Disponível: <http://www.ebah.pt/content/ABAAe0J8AD/torneamento?part=2>. [Acedido: 08-Nov-2015].
- [33] W. E. Boyes, *Handbook of Jig and Fixture Design*. 1989.
- [34] R. M. M. Pires, “Estudo da Industrialização de Peça Complexa com Base nas Tolerâncias,” FCT-UNL, 2015.
- [35] “Changeover Time.” [Online]. Disponível: <https://en.wikipedia.org/wiki/Changeover>. [Acedido: 01-Dez-2015].

Anexos

Anexo 1 Tipos de Montagem de buchas em torno (Types of Spindle Nose)

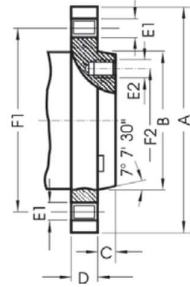


Retirado do Catalogo Toolmex Industrial Solutions Ano 2012

Spindle Type A1 and A2



Spindle Nose	F1	F2	B	C max	Thread E1 = E2 UNC-3B
A-4	3.2500	-	2.5005 + .0005	.4375	7/16-14
A-5	4.1250	2.4374	3.2505 + .0005	.5625	7/16-14
A-6	5.2500	3.2500	4.1880 + .0005	.6250	1/2-13
A-8	6.7500	4.3750	5.50075 + .0005	.6875	5/8-11
A-11	9.2500	6.5000	7.75075 + .0005	.7500	3/4-10
A-15	13.0000	9.7500	11.251 + .001	.8125	7/8-9
A-20	18.2500	14.5000	16.251 + .001	.8750	1-8
A-28	25.5000	20.8750	23.001 + .001	1.000	1 1/4-7



Type A1 has tapped holes on both inner and outer bolt circles

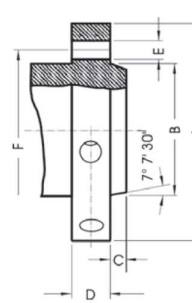


Type A2 does not have holes in the inner bolt circle

Camlock Spindle Type D1



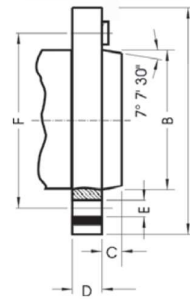
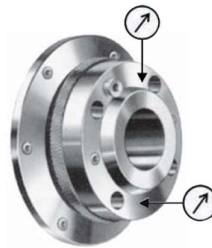
Spindle Nose	A	F	B	C max	E	Number of Holes	Camlock Stud Dia
D1-3	3.622	2.7820	2.1250 + .00025	.4375	.5937	3	9/16
D1-4	4.606	3.2500	2.5005 + .0005	.4375	.6562		5/8
D1-5	5.748	4.1250	3.2505 + .0005	.5000	.8750		3/4
D1-6	7.126	5.2500	4.1880 + .0005	.5625	1.000	6	7/8
D1-8	8.858	6.7500	5.50075 + .0005	.6250	1.125		1
D1-11	11.732	9.2520	7.75075 + .0005	.6875	1.250		1 3/16
D1-15	15.866	13.0000	11.251 + .001	.7500	1.375		1 3/8



German Standard DIN 55027, Spindle Type C



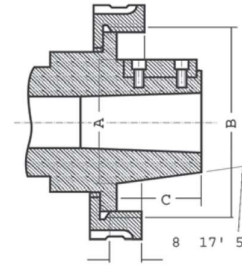
Spindle Nose	F	B	C max	E	Number of Holes
C-4	3.2500	2.5005	.4331	.83	3
C-5	4.1250	3.2505	.5118	.83	4
C-6	5.2500	4.1880	.5512	.91	4
C-8	6.7500	5.50075	.6299	1.14	4
C-11	9.2520	7.75075	.7087	1.42	6



Long Taper Key Drive, Spindle Type L



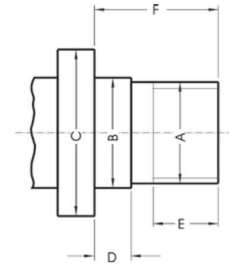
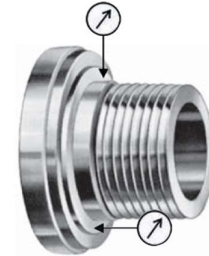
Spindle Nose	Thread B	C	A	Key
L00	3 3/4" - 6"	2	2.750	3/8 x 3/8 x 1 1/2
L0	4 1/2" - 6"	2 3/8	3.250	3/8 x 3/8 x 1 3/4
L1	6" - 6"	2 7/8	4.125	5/8 x 5/8 x 2 3/8
L2	7 3/4" - 5"	3 3/8	5.250	3/4 x 3/4 x 2 7/8
L3	10 3/8" - 4"	3 7/8	6.500	1 x 1 x 3 1/4



Threaded Spindle

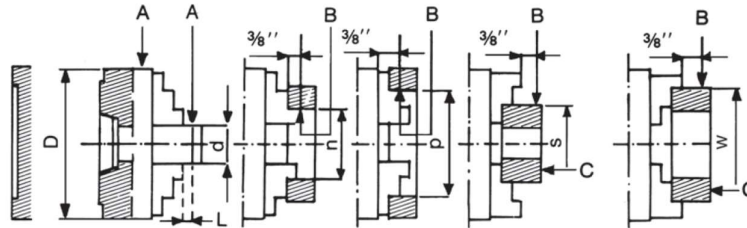


Spindle Nose A	B	F	D	E
1" - 10" UNS-2B	1.015	1.500	.4375	1.000
1 1/2" - 8" UN-2B	1.515	1.500	.4375	1.000
2 3/16" - 10" UN-2B	2.2025	1.750	.5625	1.125
2 1/4" - 8" UN-2B	2.260	1.750	.5625	1.125
2 3/16" - 6" UN-2B	2.2025	1.750	.5625	1.125
2 3/4" - 8" UN-2B	2.760	2.0625	.6875	1.3125



Self-Centering Scroll Chuck Accuracy

- All allowable runouts which are specified relate to measurements at three different jaw openings **d** (1, 2, and 3)



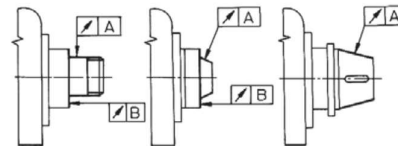
Chuck Dia D	Universal and Precision Chuck Types: 3200, 3500, 3600, and 3700										Radial Runout			Axial Runout
	d			L	n	p	s	w solid jaws	w 2 piece jaws	A	B	C		
	1	2	3											
3-1/2"	0.39	—	0.55	1.57	1.57	2.36	1.38	2.48	—	0.0008	0.001	0.0006		
4"	0.39	0.55	0.71	1.57	1.57	2.95	1.97	3.15	—	0.0008	0.001	0.0006		
5"	0.71	0.98	1.18	2.36	1.97	3.94	2.44	3.94	4.72	0.0012	0.0014	0.0008		
6-1/4"	0.71	1.18	1.57	2.36	1.97	5.31	3.46	3.94	5.9	0.0012	0.0014	0.0008		
8"	1.18	1.57	2.08	3.15	3.15	6.38	3.78	6.3	7.28	0.0016	0.0018	0.001		
10"	1.18	2.08	2.95	3.15	3.15	7.87	5.9	6.3	8.86	0.0016	0.0018	0.001		
12-1/2"	2.08	2.95	3.94	4.72	4.92	9.92	8.27	9.84	11.81	0.002	0.0022	0.0012		
15-3/4"	2.08	3.94	4.92	4.72	4.92	11.1	9.84	9.84	13.78	0.0024	0.0025	0.0012		
20"	2.95	3.94	4.92	6.3	7.87	11.1	11.81	15.75	15.75	0.004	0.004	0.002		
25"	2.95	4.92	6.3	6.3	7.87	12.79	15.75	15.75	15.75	0.004	0.004	0.002		
31-1/2"	6.3	7.87	9.84	6.3	12.8	19.7	15.75	19.7	19.7	0.0059	0.0059	0.0024		

Permissible Spindle Runout

To obtain the specified clamping accuracy of a chuck mounted on a machine tool, it is necessary to:



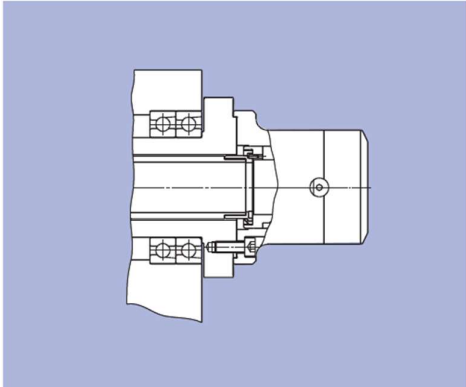
1. Reduce play in the spindle bearings to allowable minimum
2. Ensure the machine spindle nose does not exceed the values specified
3. Meet the basic requirements for correct mounting of the chuck on the spindle nose
4. Follow the chuck manual

Chuck Dia	Spindle Runout
3500 Steel Body Chucks	
3" - 16"	.00012" max
20" - 25"	.0002" max
3200 Semi-Steel Body	
3" - 6"	.00012" max
8" - 32"	.0002" max



Retirado do Catalogo Toolmex Industrial Solutions Ano 2012

Anexo 2 Informação Adicional Sobre Collets do Catálogo SMW [18].

KSZ-MB Collet chuck	Collet chuck for bar machining ■ Bars Ø 3 - 80 ■ Collets DIN 6343
	Application/customer's benefit <ul style="list-style-type: none"> ■ Efficient machining of bar material on automatic bar machines with bar feed ■ Less deformation of thin-walled components during clamping ■ Quick set-up by means of bayonet locking cap ■ For highest speeds ■ Clamping/unclamping of chuck during spindle rotation is possible
	Profitability <ul style="list-style-type: none"> ■ Quick and simple installation to all lathes (alternately with 3-jaw chucks). ■ Simply by changing collets, round, square and hexagonal material can be clamped. ■ Cost effective by using standard collets DIN 6343 as well as standard Rubberflex and Multirange collets. ■ Collets for highest concentricity for special profiles, vulcanized, coated or ground to size are available on request.
	<ul style="list-style-type: none"> ■ Case hardened and ground chuck parts ensure long service life ■ Finish-machining of all parts in one set-up guarantees perfect concentricity ■ Direct mounting to the machine spindle ensures high concentricity ■ High operating reliability due to a minimum of parts ■ High axial positioning accuracy of the components by means of push type collet system

KSZ-DZ/KSZ-AZ

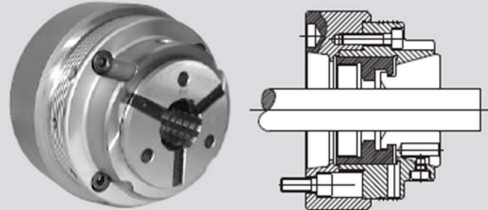
Draw collet chuck for bar and shaft machining

Draw collet chucks



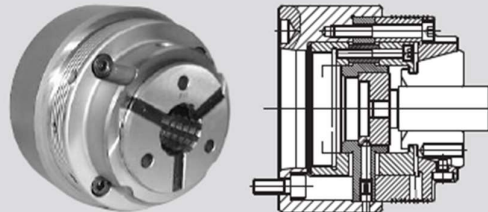
Application/customer's benefit

- Safe clamping of bars and shafts
- Quick change of collets with changing unit
- Changing unit manual or pneumatic
- Direct mounting of the collets into the body ensures highest concentricity
- Collets available round, square, hexagonal or as blanks to be machined on the chuck
- Available for stationary use



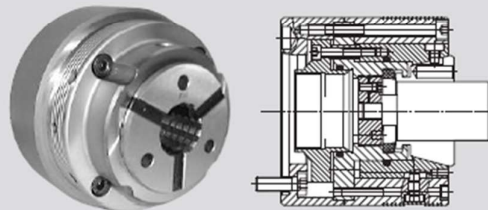
KSZ-DZ

- Safe clamping of bars
- No pressure forces onto the machine spindle during clamping
- Highest axial and radial rigidity with draw collet system
- Parallel clamping of the collets
- Flexible use because of large range of the collets



KSZ-AZ

- Rigid axial workstop for shafts
- High axial positioning accuracy of the shafts because of pull down effect onto the workstop
- Full through hole available because of quick change of axial workstop
- Special workstops available on request



KSZ-NZ

- Collet in axial fixed position = no axial movement and axial forces when clamping.
- Rigid axial workstop for shafts
- Full through hole available because of quick change of axial workstop
- Special workstops available on request